

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA-BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie Electrique



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master en
électrotechnique

Option :

Electrotechnique Industrielle

Thème : _____

Contribution à l'installation d'un fondoir de dissolution du
sucre cristallisé dans le cadre du PCA

Réalisé par
M^{elle}. SACI Hayat

Encadré par
Mr. BABOURI Rabah U.A/Mira Béjaïa
Mr. AHOUARI Abdelhak E.G/Cevital Béjaïa

Soutenu devant les jurys
Président : Mr. YAHIAOUI Belkacem
Examineur : Mr. BOUTEBEL Mohamed

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Avant tout, je remercie DIEU qui m'a donné le courage, la patience, la foi et la volonté pour accomplir ce modeste travail.

Je tiens à remercier vivement mon promoteur Monsieur BABOURI Rabah ainsi que mon co-promoteur Monsieur AHOURI Abdelhak pour leurs conseils judicieux, leurs soutiens et pour la confiance qu'ils m'ont accordée.

L'expression de ma profonde gratitude s'adresse plus particulièrement à Monsieur BENMAMMAR Salem, ingénieur automaticien au sein de l'entreprise CEVITAL, pour le soutien, l'aide, le suivie régulier et les précieuses consignes qui m'a apporté.

Je remercie l'ensemble du personnel de l'unité de sucre liquide du groupe Cevital en particulier Monsieur TAKKA Mahmoud de m'avoir permis de rejoindre son équipe, (LAKAOUR Mahrez, Mr AMIR Sofiane, Mr LAIFAOUI Nabil), merci à tous pour l'assistance que vous m'avez apportée, pour les informations nécessaires, le temps et la disponibilité accordé.

J'adresse également mes remerciements aux membres du jury qui ont pris le soin d'examiner mon travail.

Je tiens à exprimer mes profonds remerciements à mes parents et mes sœurs pour leur soutien et leur encouragement durant mon cycle d'étude.

Enfin, je termine par remercier tous ce qui m'ont soutenu de loin ou de près pour la réalisation de ce projet.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise et généralités sur la production du sucre liquide

I.1 Présentation de l'entreprise CEVITAL 3

I.1.1 Activités et unités de CEVITAL 4

I.1.2 Situation géographique..... 5

I.1.3 Missions et objectifs..... 5

Production du sucre liquide 5

Principe..... 6

I.2 Processus de production du sucre liquide du groupe CVETIAL 6

I.2.1 Déminéralisation : unité 100 6

I.2.2 Hydrolyse : unité 200..... 7

I.2.3 Charbon-filtration : unité 300..... 7

I.2.4 Pasteurisation et filtration stérile : unité 400..... 8

I.2.5 Concentration : unité 500..... 8

I.2.6 Stockage et chargement : unité 600..... 9

Conclusion 9

Chapitre 2 : Problématique et éléments de la station de refonte du sucre cristallisé

Introduction..... 10

II Problématique 10

II.1 Fonctionnement de la station de refonte 10

II.2 Eléments de la station 11

II.2.1 Trémie..... 11

II.2.2 Convoyeurs à vis 11

II.2.3 Fondeur 12

II.2.4 Agitateur 12

II.2.5 Bac de réception..... 13

II.2.6 Groupes motopompes 13

II.2.7 Vannes pneumatiques et manuelles..... 13

II.2.7.1 Vannes manuelles..... 14

II.2.7.2 Vannes pneumatiques (TOR)..... 14

II.2.7.3 Fins de course..... 14

II.2.8 Les capteurs..... 15

II.2.8.1	Structure interne des capteurs.....	15
II.2.8.2	Classification des capteurs	15
II.2.8.3	Fonctionnement des capteurs.....	15
II.2.9	Capteurs de niveau à pression	16
II.2.10	Capteurs de niveau à lames vibrante	17
II.2.12	Capteur de température PT100.....	17
II.2.13	Débitmètre	18
II.2.14	Brixmètre.....	18
II.2.15	Échangeur thermique	19
II.3	Éléments de commande et de puissance.....	19
II.3.1	Fonctionnements et rôles de l'ensemble d'appareillages utilisé.....	19
•	Sectionneur	19
•	Contacteur	20
•	Bloc de contacts auxiliaire.....	21
•	Relais à 14 broches.....	21
•	Relais de phase	21
•	Relais thermique	22
•	Disjoncteur magnétothermique bipolaire	22
•	Répartiteurs et borniers	23
II.3.2	Moteur asynchrone	23
❖	Principe de fonctionnement.....	23
II.3.3	Variateur de vitesse	24
II.3.4	Démarrage progressif	24
II.4	Choix du démarrage des moteurs.....	24
II.4.1	Démarrage direct.....	25
II.4.2	Démarrage étoile-triangle	25
II.4.3	Démarrage avec variateur de vitesse.....	26
II.4.4	Démarrage avec démarreur	26
II.5	Cahiers des charges	27
Conclusion	27

Chapitre 3 : Dimensionnement et réalisation de l'armoire électrique de la station de fonte

Introduction	28
III.1	Étapes à suivre pour la réalisation d'une armoire électrique.....	28
III.2	Collecte d'informations sur l'installation	29
III.2.1	Puissance des récepteurs	29
III.2.2	Nombre d'entrées/sorties de l'automate	29
III.3	Détermination des sections de conducteurs.....	29
III.3.1	Détermination du courant maximal d'emploi I_B	30
III.3.1.1	Détermination de ses Facteurs.....	31

➤	Facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement.....	31
➤	Facteur de simultanéité K_S	31
➤	Facteur d'utilisation K_u	32
➤	Facteur de conversion K_C	32
➤	Facteur d'extension K_e	33
III.3.2	Détermination de l'intensité assignée nominal I_n [18].....	33
III.3.4	Détermination du courant admissible I_z [18].....	33
III.3.4	Détermination du facteur de correction K [19]	34
III.3.4.1	Lettre de sélection.....	34
III.3.4.2	Facteur de correction K1	35
III.3.4.3	Facteur de correction K2.....	35
III.3.4.4	Facteur de correction K3.....	36
III.3.5	Détermination du courant admissible équivalent I_z'	36
III.3.6	Sections de câbles.....	37
III.3.6.1	Détermination des sections de conducteurs actifs.....	37
III.3.6.2	Détermination des sections de conducteurs de protection PE	37
III.3.7	Vérification des chutes de tensions [19].....	37
III.4	Protection contre les courts-circuits [20].....	38
III.4.1	Méthode de calcul des courants de court-circuit par impédance	39
III.4.2	Choix des dispositifs de protection contre les courts-circuits	39
III.4.3	Sélectivité des protections	40
III.4.3.1	Choix de courbes de déclenchement des disjoncteurs.....	40
III.5	Dispositifs de protections des personnes et des moteurs	41
III.5.1	Protection des personnes.....	41
III.5.2	Protection des moteurs.....	41
III.6	Régimes de neutre.....	41
III.6.1	Régime TT.....	42
III.6.2	Régime TN.....	42
III.6.3	Régime IT utilisé dans l'entreprise	43
III.7	Choix de l'alimentation stabilisée (AC/DC)	43
III.8	Etude et réalisation de l'armoire électrique du fondoir.....	44
III.8.1	Construction d'une armoire électrique	44
III.8.2	Liste des organes utilisé dans l'armoire du fondoir	46
III.8.3	Choix du système de ventilation de l'armoire du fondoir.....	47
III.9	Résultats de calculs analytiques	47
III.9.1	Sections de câbles et calibres des disjoncteurs du fondoir	47
III.9.2	Différents courts-circuits en tout point de l'installation du fondoir	48
III.10	Dimensionnement de l'installation par le logiciel Caneco-BT.....	48

III.10.1	Présentation du logiciel	49
III.10.2	Étapes de la réalisation	49
	• Création de la source	49
	• Fenêtre de choix du disjoncteur dans le catalogue	50
	• Une affaire dans Caneco-BT	51
	• Calcul et résultats	51
	• Schéma unifilaire de l'installation	53
	• Bilan de puissance	53
III.10.3	Étude comparative	53
	Conclusion	56

Chapitre 4 : Analyse fonctionnelle et supervision de l'atelier de refonte

Introduction	57
IV.1 Analyse fonctionnelle du système	57
IV.1.1 Étape initiale avant la mise en marche	57
IV.1.2 Fonctionnement en mode marche processus	58
IV.1.2.1 Condition de la mise en marche	58
IV.1.2.2 Mise en marche en mode production	58
IV.1.2.4 Mise en arrêt du processus	59
IV.1.2.5 Analyse fonctionnelle par grafcet de mode marche/arrêt du processus	59
IV.1.2.6 Sous-programme assurant l'ouverture et la fermeture de VP2 et VP3	61
IV.1.3 Fonctionnement en mode nettoyage et stérilisation	61
IV.1.3.1 Condition de la mise en marche	61
IV.1.3.2 Mise en marche en mode nettoyage et stérilisation	61
IV.1.3.3 Analyse fonctionnelle par grafcet de mode nettoyage et stérilisation	62
IV.2 Système automatisé	63
IV.2.1 Définition	63
IV.2.2 Structure d'un système automatisé	63
IV.3 Généralités sur les automates programmables industriels	64
IV.3.1 Définition d'un automate programmable industriel	64
IV.3.2 Critères de choix d'un API	64
IV.3.3 Présentation de l'automate S7-300	64
IV.3.3.1 Structure matérielle de l'automate S7-300	65
IV.3.3.2 Module d'alimentation	65
IV.3.3.3 L'unité centrale CPU	66
IV.3.3.4 Modules d'entrées / sorties	66
IV.3.5 Types de données utilisées	67

IV.4	Programmation de l'API avec le logiciel STEP7	67
IV.4.1	Présentation du logiciel STEP7	67
IV.4.2	Fonctions à suivre pour l'automatisation d'une installation sur STEP7	67
IV.4.2.1	Gestionnaire de projets SIMATIC Manager	68
IV.4.2.2	Création du projet sur STEP7	68
IV.4.2.3	Choix de la CPU	69
IV.4.2.4	Choix de langage de programmation de l'API sur STEP7	69
IV.4.2.5	Configuration matérielle	70
IV.4.2.6	Blocs d'utilisateurs existant sur STEP 7	71
IV.4.2.7	Table des mnémoniques	72
IV.4.2.8	Chargement de programmes dans la CPU	73
IV.4.2.9	Simulateur des programmes S7- PLCSIM	73
IV.5	Blocs utilisés dans le programme de l'installation du fondoir	73
IV.5.1	Bloc d'organisation : OB1	74
IV.5.1.1	Simulation du bloc d'organisation OB1	74
IV.5.2	Gestion des entrées analogiques : [FC2]	74
IV.5.3	Bloc mode marche/arrêt du mode process : [FC1]	75
IV.5.3.1	Simulation du réseau de fonctionnement du GMP1	77
IV.5.4	Bloc mode nettoyage et stérilisation : [FC4]	78
IV.5.5	Bloc d'animations de l'état des vannes et moteurs : FC6	79
IV.5.5.1	Simulation du bloc animations vannes et moteurs	79
IV.6	Supervision	80
IV.6.1	Commande par supervision	80
IV.6.2	Interface homme- machine IHM	80
IV.7	Présentation du logiciel de supervision WinCC flexible	81
IV.7.1	Création de l'interface homme machine de l'atelier de refonte	81
IV.7.1.1	Création du projet	81
IV.7.1.2	Liaison avec l'automate	82
IV.7.1.3	Création de la table des variables	82
IV.7.1.4	Créations des vues	83
IV.7.1.4.1	Vue synoptique du fondoir	83
IV.7.1.4.2	Vue d'alarmes	83
	Conclusion	84
	Conclusion générale	85
	Références bibliographiques	
	Annexe A	
	Annexe B	

Liste des figures

Figure I-1	Plan de masse CEVITAL agro-alimentaire	5
Figure I-2	Unité 100 : Déminéralisation.....	6
Figure I-3	Unité 200 : Hydrolyse.....	7
Figure I-4	Unité 300 : Charbon-Filtration	7
Figure I-5	Unité 400 : Pasteurisation et filtration stérile.....	8
Figure I-6	Unité 500 : Concentration.....	8
Figure I-7	Unité 600 : Stockage et chargement	9
Figure II-1	Trémie et convoyeur à vis	11
Figure II-2	Fondoir	12
Figure II-3	Agitateur.....	12
Figure II-4	Bac de réception.....	13
Figure II-5	Groupe motopompe.....	13
Figure II-6	Vanne manuelle.....	14
Figure II-7	Vanne pneumatique.....	14
Figure II-8	Récapitulatif du fonctionnement d'un capteur	16
Figure II-9	Capteur de pression	16
Figure II-10	Capteur à lames vibrante	17
Figure II-11	Capteur de température de type PT10	17
Figure II-12	Débitmètre.....	18
Figure II-13	Brixmètre	18
Figure II-14	Échangeur thermique de type serpentin.....	19
Figure II-15	Symbole d'un sectionneur porte fusible	20
Figure II-16	Symbole des éléments d'un contacteur	20
Figure II-17	Bloc de contacts auxiliaire	21
Figure II-18	Relais à 14 broches	21
Figure II-19	Relais thermique.....	22
Figure II-20	Symbole du disjoncteur magnétothermique	22
Figure II-21	Répartiteur.....	23
Figure II-22	Moteur asynchrone.....	23
Figure II-23	Structure interne d'un variateur de vitesse	24
Figure II-24	Démarrage avec démarreur	24
Figure III-1	Courbes de déclenchement des disjoncteurs	40
Figure III-2	Structure extérieur de différentes dimensions.....	44
Figure III-3	Structure interne d'une armoire électrique.....	45
Figure III-4	Composants d'une armoire	45
Figure III-5	Dossier électrique	46
Figure III-6	Fichiers constructeurs sur Caneco_BT	49
Figure III-7	Création de la source sur Caneco_BT.....	50
Figure III-8	Catalogue du choix du disjoncteur.....	51
Figure III-9	Fenêtre calcul des circuits.....	52
Figure III-10	Schéma unifilaire de l'installation du fondoir.....	53

Figure IV-1	Grafctet mode marche/arrêt processus.....	60
Figure IV-2	Sous-programme assurant l'ouverture et la fermeture de VP2 et VP3	61
Figure IV-3	Grafctet mode nettoyage et stérilisation	62
Figure IV-4	Structure d'un système automatisé	63
Figure IV-5	Automate S7-300.....	64
Figure IV-6	Structure matérielle de l'automate S7-300	65
Figure IV-7	Création du projet sur step7.....	68
Figure IV-8	Sélection de type de la CPU	69
Figure IV-9	Sélection du bloc organisationnel et type de langage.....	70
Figure IV-10	Configuration matérielle.....	71
Figure IV-11	Blocs utilisés pour la programmation.....	72
Figure IV-12	Table des mnémoniques	72
Figure IV-13	Simulateur des programmes PLCSIM.....	73
Figure IV-14	Bloc d'organisation OB1	74
Figure IV-15	Valeur analogique de niveau du fondoir.....	75
Figure IV-16	Valeur analogique de brix du fondoir.....	75
Figure IV-17	Conditions d'ouverture de la vanne d'eau chaude du fondoir VP10.....	76
Figure IV-18	Ordre de marche du convoyeur à vis.....	77
Figure IV-19	Ordre de marche du GMP1.....	77
Figure IV-20	Ouverture de la vanne de recirculation du fondoir	78
Figure IV-21	Condition d'ouverture de la vanne de vapeur du fondoir	78
Figure IV-22	Activation des vannes de vidange VP8 et VP9	79
Figure IV-23	Animation agitateur M2 à l'arrêt.....	79
Figure IV-24	Création du projet su WinCC flexible	81
Figure IV-25	Liaison avec l'automate.....	82
Figure IV-26	Table des variables	82
Figure IV-27	Vue de la synoptique du fondoir	83
Figure IV-28	Vue d'alarmes.....	84

Liste des tableaux

Tableau I-1 récapitulatif des activités de l'entreprise	4
Tableau III-1 Données des récepteurs utilisés dans l'installation.....	29
Tableau III-2 Facteur de simultanéité	31
Tableau III-3 Facteur d'utilisation	32
Tableau III-4 Facteur de conversion K_c	32
Tableau III-5 Courant assigné nominal.....	33
Tableau III-6 Lettre de sélection	34
Tableau III-7 Facteur de correction K_1	35
Tableau III-8 Facteur de correction K_2	35
Tableau III-9 Facteur de correction K_3	36
Tableau III-10 Section des conducteurs PE et PEN en fonction des sections des phases	37
Tableau III-11 Détermination des chutes de tension	38
Tableau III-12 Régimes de neutre.....	42
Tableau III-13 Sections des conducteurs et calibres des disjoncteurs	47
Tableau III-14 Différents courants de court-circuit de l'installation.....	48
Tableau III-15 Résultats de calculs analytiques et par Caneco_BT des sections de câbles.....	54
Tableau III-16 Résultats de calculs analytiques et par Caneco_BT des chutes de tension.....	54
Tableau III-17 Résultats de calculs analytiques et par Caneco_BT des courants de courts-circuits ...	55
Tableau IV-1 Types et tailles de données.....	67



Introduction générale

Introduction générale

Les grands systèmes de production sont souvent confrontés à des problèmes techniques qui causent des retards et des pertes sur le plan économique et en termes de disponibilité des produits finis. Pour y remédier, la mise en place de systèmes secondaires est nécessaire afin de garantir la continuité d'activité et la disponibilité de ces produits. Ces systèmes secondaires nécessitent une consommation d'énergie électrique, ce qui implique la conception d'armoires électriques adaptées à chaque système, intégrant l'ensemble des équipements de puissance et de commande, dimensionnés selon des normes internationales définies.

L'unité des sucres spéciaux du complexe Cevial, est parmi les unités qui s'engage à satisfaire ces partenaires en leur fournissant des produits de qualité à chaque étape de la chaîne de valeur, offrant des solutions techniques et personnalisées adaptées à leurs besoins spécifiques. De ce fait, elle a opté pour l'installation du fondoir qui va servir à l'alimentation de l'unité 600 d'expédition en cas de perturbation au niveau du processus de production.

Notre mémoire est réalisé dans le cadre d'une problématique posé par l'unité du sucre liquide du groupe Cevital, qui a pour objectif de faire une étude et un dimensionnement électrique, ainsi que le programme de commande et de supervision de la station du fondoir qui va garantir la continuité de la production de sucre liquide.

Dans ce projet, le travail est subdivisé en quatre chapitres. Au cours du premier chapitre nous exposerons brièvement l'entreprise Cevital, puis nous donnerons un aperçu général sur la production du sucre liquide dans lequel nous y décrirons les unités de production de sucres spéciaux existantes.

Le second chapitre portera sur le principe du fonctionnement de la station du fondoir. Ensuite, nous nous pencherons sur la description générale des équipements nécessaires à sa construction, ainsi que les éléments de commande et de puissance qui serviront à piloter et à surveiller l'installation.

Le troisième chapitre sera dédié au dimensionnement de l'installation électrique du fondoir. Nous y développerons toutes les étapes requises pour dimensionner les installations selon les normes en vigueur afin de pouvoir effectuer les calculs de sections des conducteurs électriques avec leurs protections. Pour finaliser cette partie, nous allons passer à la vérification

des résultats de calculs à travers le logiciel CANECO_BT, ce qui nous permettra d'élaborer une étude comparative qui nous mènera à obtenir des résultats plus précis et conforme aux exigences.

Le dernier chapitre sera consacré à l'automatisation de la station, dans lequel nous allons élaborer une analyse fonctionnelle par Grafcet décrivant les différents modes du processus, en se basant sur un cahier des charges défini. Nous passerons par la suite à la programmation d'un automate de la gamme Siemens S7-300, que nous simulerons à l'aide du logiciel Step7.

A la fin de celui-ci, nous mettrons en place une supervision de l'installation en réalisant une IHM grâce à logiciel WinCC flexible, qui va permettre à l'opérateur de contrôler et de commander les modes de fonctionnement (marche process et nettoyage/stérilisation), ainsi que la signalisation des alarmes en cas de défauts au niveau du process.



Chapitre 1

*Présentation de l'entreprise et généralités sur
la production du sucre liquide*

Introduction

CEVITAL figure parmi les plus grands complexes agroalimentaires d'Algérie, doté d'installations de technologies de pointe, ce qui en fait une force redoutable dans le secteur industriel algérien. Connu pour ses unités et ses activités diversifiées que dans ce chapitre nous allons les présenter, ainsi ses principales missions et sa situation géographique.

Par la suite nous allons nous concentrer sur l'un de ses produits spéciaux, à savoir le sucre liquide, en commençant par donner un aperçu global sur les étapes du processus de sa production.

I.1 Présentation de l'entreprise CEVITAL

Créée en 1998 sous forme d'une Société Par Actions (SPA) ; Première entreprise privée à investir dans un large éventail d'activités et qui a été un acteur majeur de l'économie algérienne contribuant au développement du secteur agricole du pays, portée par 18 000 employés répartis sur 3 continents et œuvre continuellement à la création d'opportunités d'emploi et de richesse. Au fil des années elle a traversé des étapes historiques importantes pour atteindre sa taille et sa réputation actuelle.

Grâce à son savoir-faire, son contrôle strict, son engagement en faveur de la qualité, de l'innovation, de la durabilité et le maintien de sa compétitivité, CEVITAL s'est imposée comme le leader du marché national et a fait passer l'Algérie du stade d'importateur à celui d'exportateur [1].

I.1.1 Activités et unités de CEVITAL

L'ensemble des activités de Cevital sont fondées sur la production et la commercialisation des huiles végétales, de margarine et du sucre.

L'entreprise comprend plusieurs unités de production, chacune dotée d'une entité de développement chargée de tester et de lancer de nouveaux produits ; Parmi ces unités de production :

- Une raffinerie d'huile avec une capacité de production de 1800 tonnes/jour
- Une margarinerie avec une production de 600 tonnes/jour
- Deux grandes raffineries de sucre blanc 3000 tonnes/jour, 3500 tonnes/jour
- Conditionnement du sucre blanc 1kg, 2kg, 50kg
- Conditionnement du sucre roux 1kg
- Une unité de sucre roux

Elle possède également des silos portuaires ainsi qu'un terminal de déchargement portuaire d'une capacité de 2000 tonnes/heure ce qui en fait le premier terminal de déchargement portuaire en Méditerranée.

Produits	Production
Sucre blanc	2000 000 T/an
Huiles végétales	570 00 T/an
Margarine et graisse végétale	180 00 T/an
Silos portuaires	182 000 T/an
Terminal de déchargements portuaire	2000 T/heure

Tableau I-1 récapitulatif des activités de l'entreprise

I.1.2 Situation géographique

Le complexe Cevital est implanté au sein de l'arrière port de Bejaia, à environ 3 kilomètres sud-ouest de la ville, à proximité de la RN26. Cette situation géographique de l'entreprise est d'un bon état profit en lui faisant bénéficier de la proximité économique, en effet, elle est proche du port comme illustré par la figure I.1.

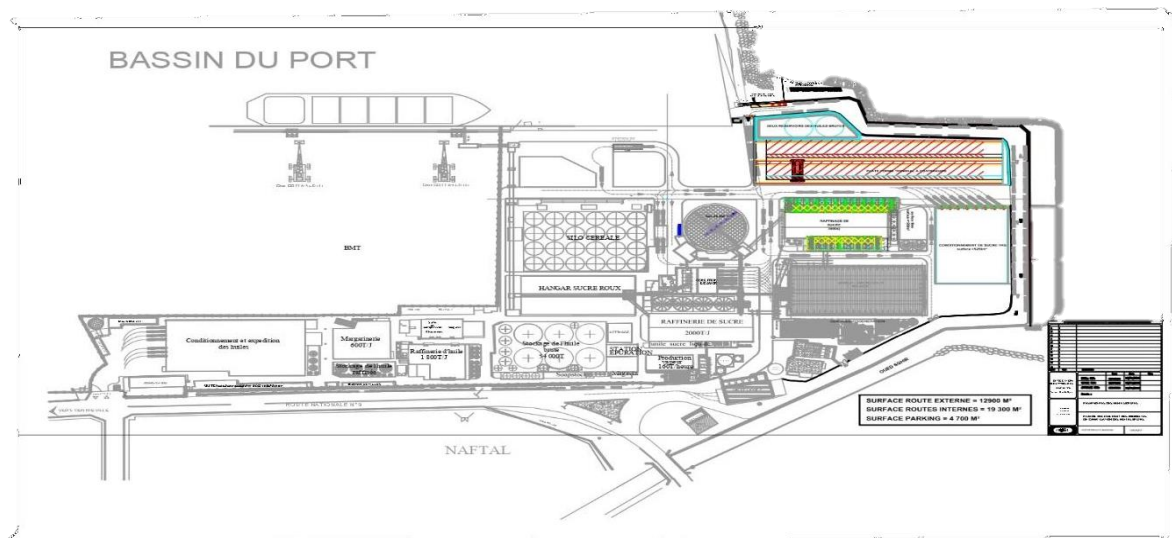


Figure I-1 Plan de masse CEVITAL agro-alimentaire

I.1.3 Missions et objectifs

L'une des principales missions de CEVITAL est d'assurer la qualité et la sécurité de ses produits, d'améliorer la production dans le but de satisfaire et fidéliser les clients.

Parmi les objectifs ces objectifs :

- Élargir la distribution des produits sur l'ensemble du territoire national.
- Optimiser les opportunités d'emploi sur le marché du travail.
- Inciter les agriculteurs à produire localement les graines oléagineuses grâce à une aide financière.
- Moderniser ses équipements en termes de machines et de technologies pour améliorer sa production.
- Positionner ses produits sur le marché étranger via l'export.

Production du sucre liquide [2]

Principe

L'unité de sucre liquide utilise comme matière première le sirop prédécoloré issu des deux raffineries de sucre blanc 3000T et 3500T de CEVITAL. On le recevant ce dernier subit une autre étape de décoloration afin d'avoir un sirop plus décoloré conforme pour pouvoir produire le sucre liquide qui est un sucre pur de qualité supérieure, principalement composé de saccharose. Il présente l'avantage d'être un produit stable, prêt à l'emploi et facile à mettre en œuvre. Idéal pour l'industrie agro-alimentaire tel que: les boissons, les produits laitiers, les confiseries, pâtisserie, les crèmes glacées, les sorbets, etc.

I.2 Processus de production du sucre liquide du groupe CVETIAL

Le sucre liquide est fabriqué à partir du sirop décoloré et répondant aux normes de qualité ISO 22000 après déminéralisation, désodorisation par charbon, pasteurisation et filtration stérilisante, concentration, stockage et chargement.

I.2.1 Déminéralisation : unité 100

L'unité 100 a pour but de déminéraliser le sirop décoloré, elle se compose d'un échangeur de chaleur pour maintenir la température constante et de trois colonnes échangeuses d'ions pour séparer les minéraux contenus dans le sirop, Cette étape est essentielle pour éliminer les impuretés et les minéraux indésirables de la solution sucrée, garantir la pureté du produit et maintenir des normes de qualité élevée tout au long de la fabrication du sucre liquide.

Comme l'industrie peut produire aussi du sucre liquide inversé (selon le besoin), dans ce cas le sirop déminéralisé sera envoyé vers l'unité 200 (hydrolyse), sinon l'unité 300 pour la production du sucre liquide saccharose.

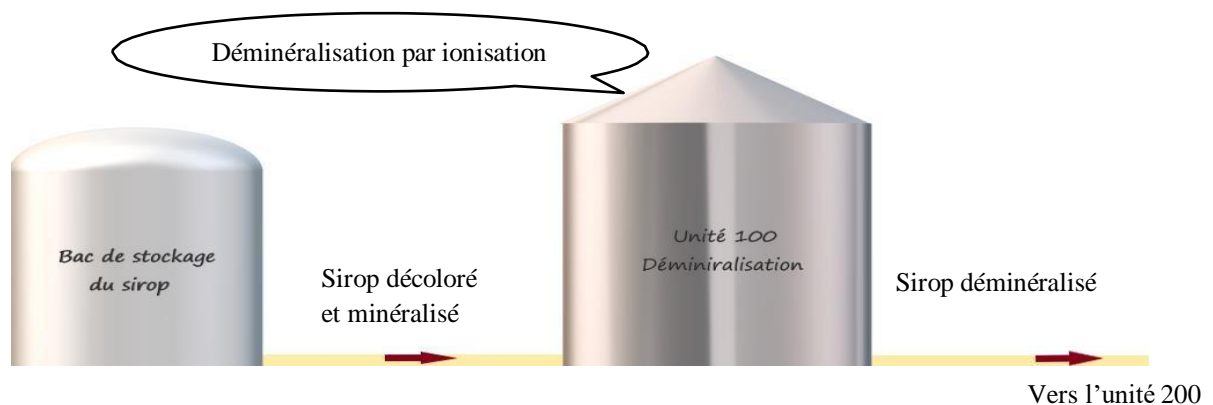


Figure I-2 Unité 100 : Déminéralisation

I.2.2 Hydrolyse : unité 200

L'unité 200 a pour but d'ajouter et mélanger de l'eau au sirop déminéralisé qui provient de la sortie de la colonne d'unité 100 pour obtenir un produit inverti. Cette unité comprend un échangeur de chaleur et une colonne échangeuse d'ions.

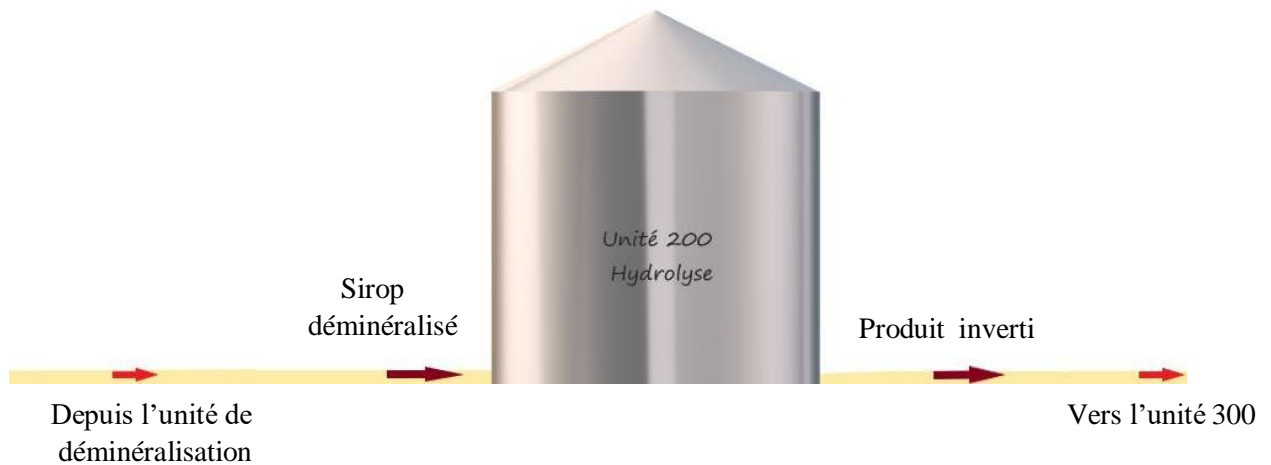


Figure I-3 Unité 200 : Hydrolyse

I.2.3 Charbon-filtration : unité 300

L'unité 300 a pour but d'éliminer les odeurs puis de filtrer le produit. Cette unité est divisée en deux parties principales : Le traitement du produit par charbon et filtration du charbon.

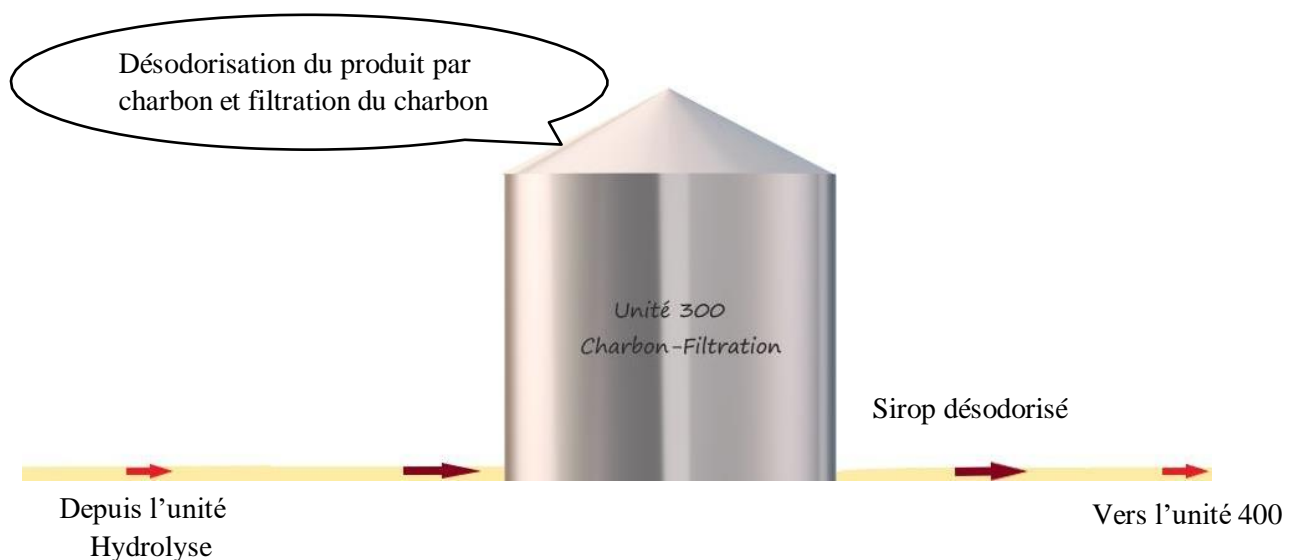


Figure I-4 Unité 300 : Charbon-Filtration

I.2.4 Pasteurisation et filtration stérile : unité 400

L'unité 400 a pour but de pasteuriser le produit provenant de l'unité de charbon-filtration en le soumettant à une pression pendant 20 secondes sous une température de 90°C pour éliminer les micro-organismes pathogènes et prolonger sa durée de conservation ; Ensuite, le produit passe par une filtration stérilisante qui est effectuée par des filtres à plaque.

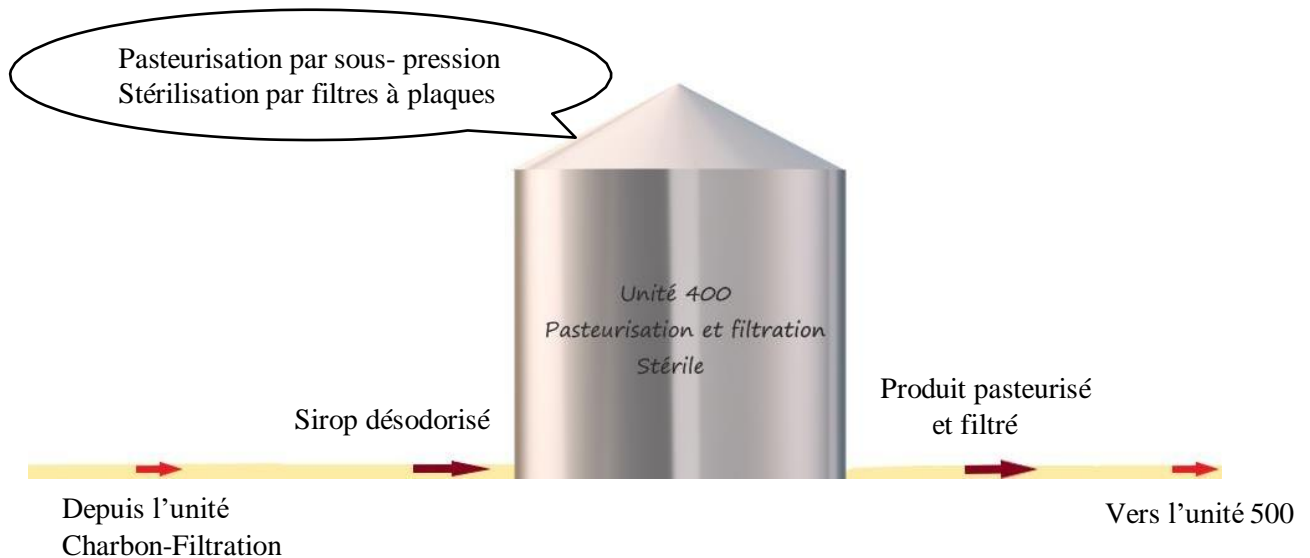


Figure I-5 Unité 400 : Pasteurisation et filtration stérile

I.2.5 Concentration : unité 500

L'unité 500 a pour but de concentrer par évaporation le produit provenant de l'unité de pasteurisation-filtration stérile afin d'obtenir un brix (quantité du sucre dans l'eau) désiré. Il est ensuite dirigé vers un système de refroidissement pour être stocké.

Brix à obtenir en sucre liquide : 67 Brix Température max du sucre liquide en sortie : 25°C.

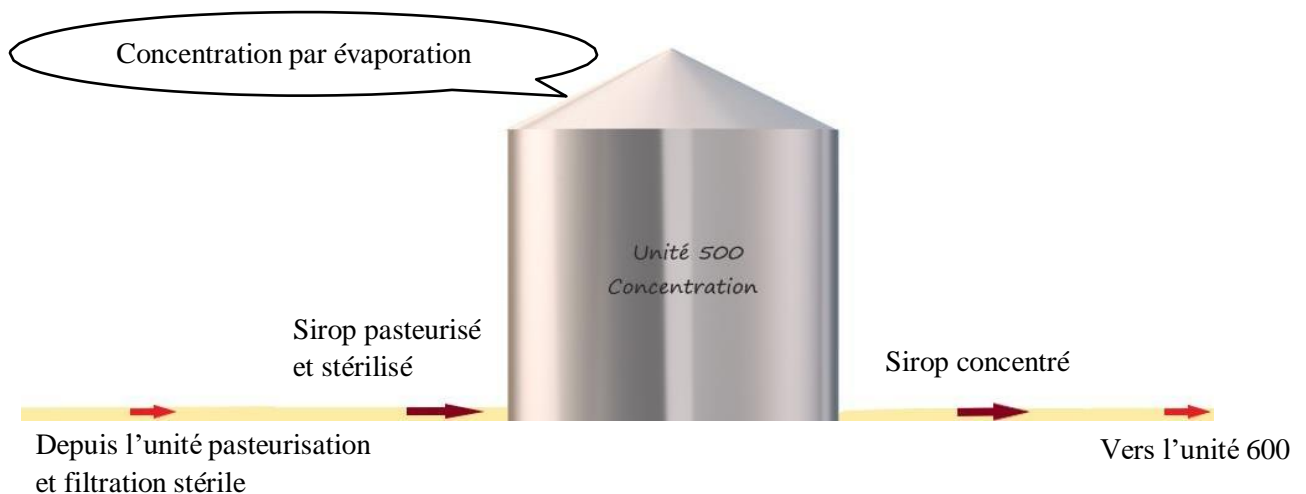


Figure I-6 Unité 500 : Concentration

I.2.6 Stockage et chargement : unité 600

L'unité 600 a pour but de stocker et de charger le produit fini qui est de haute qualité. Cette zone comprend cinq bacs de stockage stérile, chacun d'une capacité de 300m³, trois quais de stérilisation, trois quais de chargement et une zone de prélavage. Le sucre liquide saccharose se stocke à 25°C et cette température ne doit pas descendre en dessous de 15°C pour éviter la cristallisation. En outre, les camions-citernes sont préalablement lavés à l'eau chaude suivi d'une stérilisation à la vapeur avant le chargement assurant des normes sanitaires strictes.

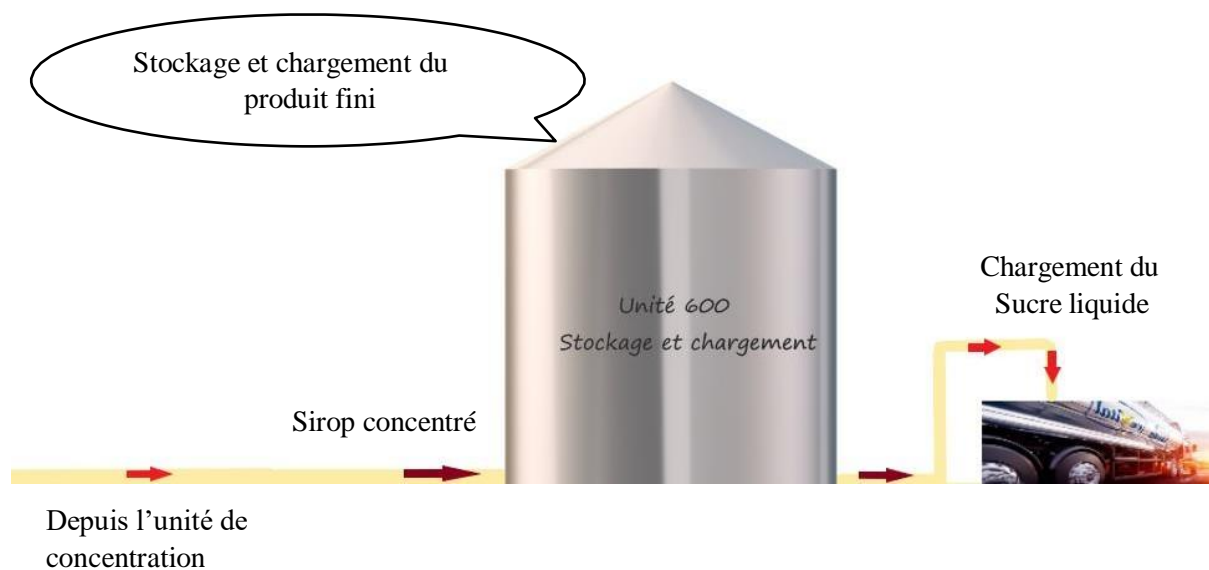


Figure I-7 Unité 600 : Stockage et chargement

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le complexe agro-alimentaire CEVITAL d'une manière générale, puis nous avons donné un aperçu sur les multiples étapes de production du sucre spécial (sucre liquide saccharose) du groupe agroalimentaire

Dans le chapitre qui suit, nous allons poser la problématique de notre étude, présenter le fonctionnement de la station de refonte du sucre cristallisé et ses éléments.



Chapitre 2

*Problématique et éléments de la station
de refonte du sucre cristallisé*

Introduction

La production du sucre liquide est une technique industrielle apportée dans notre pays par le groupe agroalimentaire CEVITAL.

Dans ce chapitre, nous allons nous intéresser à la station de refonte du sucre cristallisé du groupe en identifiant dans un premier temps la problématique posée par l'équipe d'ingénieurs, afin de pouvoir modéliser le fondoir qui permettra de résoudre le problème posé, puis exposer le fonctionnement de cette station et ses différents éléments.

II Problématique

Pour honorer les contrats signés par le géant agroalimentaire CEVITAL avec les industriels à propos d'alimentation par la matière première sucre liquide, l'unité 600 d'expédition de CEVITAL a mis en service une station de dissolution du sucre cristallisé. Il convient de noter que cette station a été créée dans le cadre du PCA (plan de continuité d'activités) pour un but précis qui est d'assurer la production ininterrompue du sucre liquide et garantir l'approvisionnement des clients, en cas de perturbations qui peuvent survenir au cours du processus de confection ou dans les cas majeurs tel qu'un incendie au niveau du TGBT (tableau générale basse tension).

L'équipe en charge de cette unité nous a proposé l'étude et le dimensionnement électrique de l'installation du fondoir, ainsi que le programme et la supervision qui va garantir la production.

II.1 Fonctionnement de la station de refonte

La station va assurer la refonte du sucre cristallisé pour obtenir un sirop d'une concentration allant de 60 à 65 brix qui alimentera l'unité 600. À la fin de chaque production, les cuves et les canalisations seront nettoyées et stérilisées.

Pour obtenir ce sirop, plusieurs étapes sont nécessaires. Tout d'abord, on ouvre manuellement les vannes d'aspiration, puis on procède au remplissage de la trémie avec du sucre cristallisé qui va être transporté par un convoyeur à vis vers un fondoir en inox fond canonique de 6 m³. Ce dernier sera mélangé avec de l'eau chaude grâce à un agitateur sous une température de 90°C. Ce mélange (eau-sucre) sera mis en boucle fermée à l'aide d'un groupe motopompe 1 pour assurer la recirculation du mélange afin de dissoudre correctement le sucre avec l'eau chaude.

Afin d'éviter que le sirop ne refroidisse, ce qui pourrait provoquer un colmatage, le fondoir est équipé d'un échangeur de chaleur relié à un circuit de vapeur saturée à 120°C, contrôlé par une vanne de régulation qui permet de gérer la température du liquide. Pour régler la vitesse du convoyeur, l'ouverture et la fermeture de la vanne d'eau chaude vers le fondoir, la quantité du sucre dans l'eau sera mesurée par un Brixmètre. Cela se fera par le biais d'une boucle de régulation d'une façon à obtenir un brix conforme à la consigne exigée.

Par débordement, le sirop sera drainé par gravité grâce à un tuyau vers un bac de capacité de 3m³, puis le niveau du brix du sirop contenant dans le bac sera vérifié à nouveau par un autre Brixmètre: s'il répond à l'exigence souhaitée, il sera dirigé vers l'unité de stockage et de chargement à l'aide d'un groupe motopompe 2; Dans le cas contraire, une boucle fermer assura le renvoi du sirop vers le fondoir.

Après un temps de fonctionnement prédéterminé, l'opérateur appuiera sur le bouton de nettoyage et de stérilisation, et le système d'automatisation lancera la vidange et le nettoyage des cuves à l'aide d'eau chaude. À la fin, une stérilisation des cuves est obligatoire par une vapeur saturée à 120°C.

II.2 Eléments de la station

La station de dissolution du sucre cristal se compose de divers éléments qui assurent le bon fonctionnement du processus. Ces composants sont définis comme suit :

II.2.1 Trémie

La matière première (sucre cristallisé) sera remplie dans une trémie, qui est une cuve en inox verticales à fond conique et calorifugées, afin d'assurer l'approvisionnement du fondoir.

II.2.2 Convoyeurs à vis

Un convoyeur à vis d'une capacité de convoyage de 20T/h, son rôle est le transport du sucre cristallisé de la trémie vers le fondoir, en assurant la continuité du processus.

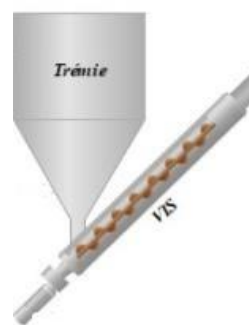


Figure II-1 Trémie et convoyeur à vis

II.2.3 Fondoir

Le fondoir est une cuve en inox à fond canonique de 6m³, Son rôle est de recevoir le sucre et l'eau chaude les mélanger à l'aide d'un agitateur, afin de dissoudre le sucre.



Figure II-2 Fondoir

II.2.4 Agitateur

L'agitateur utilisé est un agitateur moto hélice de 5.5KW, conçu pour être actionné par un moteur qui entraîne une hélice qui a pour rôle l'agitation du mélange (eau-sucre) de manière homogène.



Figure II-3 Agitateur

II.2.5 Bac de réception

Le bac de la station est une cuve en inox à fond conique de 3m³, il reçoit le sirop fondu provenant du fondoir par débordement.



Figure II-4 Bac de réception

II.2.6 Groupes motopompes

Le groupe motopompe est une combinaison de deux parties : (GMP1 de 11KW et GMP2 de 5.5KW) le premier est utilisé pour la recirculation du mélange, le deuxième est une pompe centrifuge qui permettra l'envoi du produit fini vers l'unité du stockage.



Figure II-5 Groupe motopompe

II.2.7 Vannes pneumatiques et manuelles

Ensemble de vannes qui sont actionnées à l'ouverture ou à la fermeture, permettant de contrôler la circulation du fluide d'une partie vers une autre et d'ajuster précisément le débit.

II.2.7.1 Vannes manuelles

Le mécanisme de la vanne manuelle à boisseau est très efficace pour réguler le passage de fluides. Il suffit de tourner le levier de 90° pour ouvrir ou fermer la vanne ; Lorsque le boisseau est aligné avec le tube, le fluide pourra circuler librement. En revanche, lorsqu'il est tourné à 90° (perpendiculaire) par rapport au trajet du fluide, la vanne sera fermée et le passage du fluide sera bloqué [3].



Figure II-6 Vanne manuelle

II.2.7.2 Vannes pneumatiques (TOR)

Les principaux éléments de ces vannes sont : le corps du robinet qui contient le mécanisme de contrôle du flux, comme un boisseau sphérique et l'actionneur pneumatique qui permet un contrôle précis et rapide de l'ouverture et de la fermeture des robinets et qui est composé à son tour d'un piston qui se déplace pour ouvrir ou fermer le robinet.

Le principe de base des vannes pneumatiques tout ou rien, repose sur l'utilisation du piston de l'actionneur qui est actionné par l'air comprimé ; lorsque l'air comprimé est envoyé dans une chambre de l'actionneur, le piston se déplace et fait tourner ou pivoter le mécanisme interne du robinet pour ouvrir ou fermer le passage du fluide [4]



Figure II-7 Vanne pneumatique

II.2.7.3 Fins de course

Les fins de course sont utilisées pour fournir un signal TOR lorsque la vanne atteint une position spécifique de sa plage de course. Cela permet de surveiller et de vérifier le bon fonctionnement de la vanne.

II.2.8 Les capteurs [5]

Un capteur est un organe de prélèvement d'informations qui détermine à partir d'une grandeur physique mesurée (signal d'entrée) une autre grandeur physique exploitable généralement électrique (signal de sortie). Cette grandeur représentative de la grandeur prélever est utilisé à des fins de mesure ou de commande.

II.2.8.1 Structure interne des capteurs

Constitué de parties principales :

- Corps d'épreuve : est l'élément mécanique qui réagit à la grandeur à mesurer, il a pour but de transformer cette grandeur en une autre grandeur physique dite mesurable et cette dernière représente la réaction du corps d'épreuve.
- Transducteur : est lié au corps d'épreuve, il représente la partie sensible qui convertit les réactions du corps d'épreuve en une grandeur électrique constituant le signal de sortie.

II.2.8.2 Classification des capteurs

À sortie électrique :

- Capteurs logiques : le signal ne peut prendre que deux valeurs (circuit ouvert ou fermé), c'est une variable binaire (0/1).
- Capteurs analogiques : l'amplitude de la grandeur porteuse de l'information peut prendre une infinité de valeurs dans un intervalle de temps donné, le signal peut être continu avec une amplitude constante, comme il peut être variable avec une amplitude qui varie continument en fonction du temps. Cette grandeur analogique est représentative d'un courant ou d'une tension.
- Capteurs numériques : C'est la conversion du signal analogique en un signal numérique (nombre entier) grâce à un convertisseur analogique numérique.

II.2.8.3 Fonctionnement des capteurs

Le fonctionnement des capteurs différents selon leur type et leur utilisation spécifique, En principe ils impliquent la détection ou la mesure d'une grandeur physique, la conversion de cette information en un signal utilisable, éventuellement son traitement, sa transmission à un système de traitement ou de contrôle, par la suite ce signal de sortie va se diriger vers l'actionneur pour effectuer un mouvement.

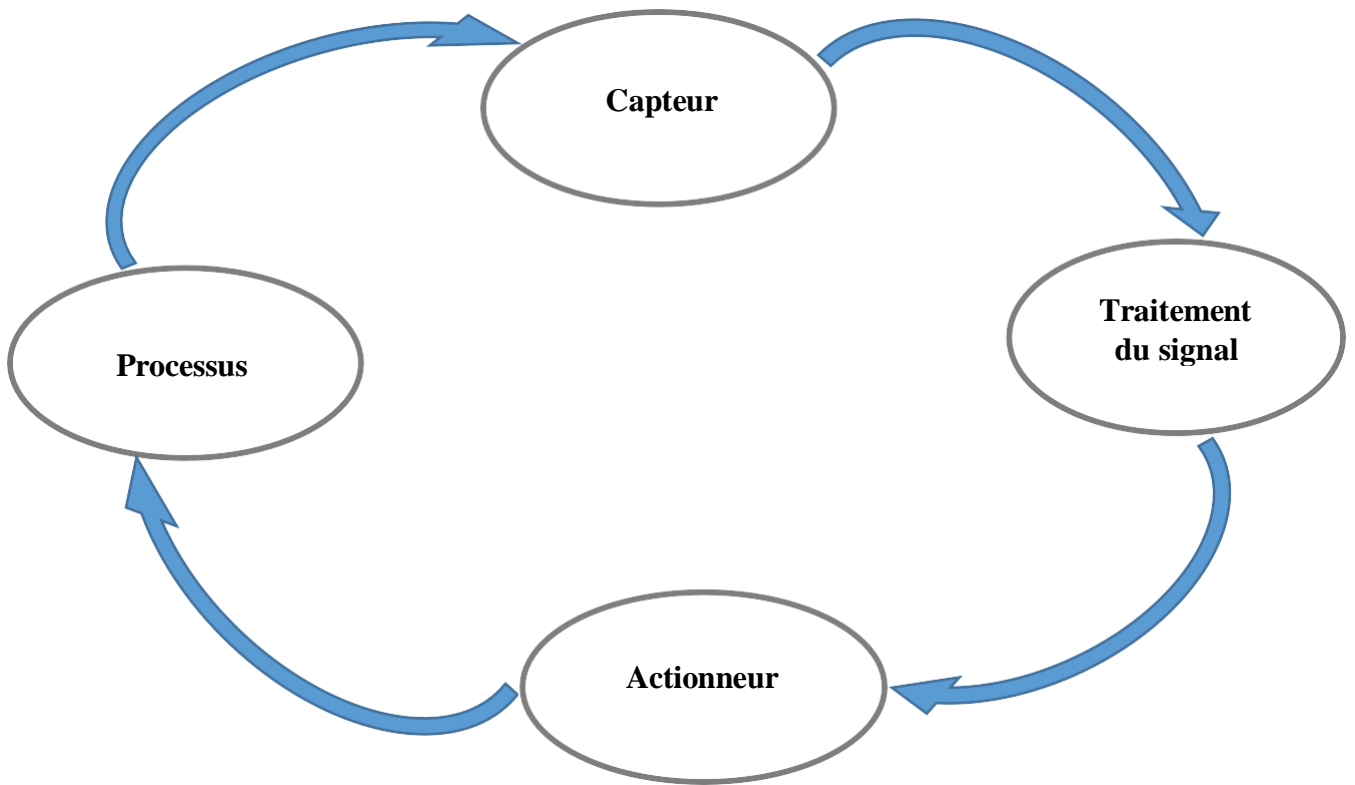


Figure II-8 Récapitulatif du fonctionnement d'un capteur

II.2.9 Capteurs de niveau à pression

Les capteurs de pression utilisé est un ensemble de capteurs analogiques qui ont pour objectif de détecter ou mesurer les variations de pression exercée par le liquide au niveau du fondoir et du bac. Du fait que, le fluide va agir sur une membrane qui va se déformer ; cette déformation sera par la suite mesurée par un élément sensible tel qu'une jauge de déformation et la mesure résultante sera directement proportionnelle à la hauteur du liquide [6].



Figure II-9 Capteur de pression

II.2.10 Capteurs de niveau à lames vibrante

Les capteurs de niveau utilisés sont des capteurs tout ou rien (TOR) qui servent à indiquer le niveau haut ou bas de la trémie. Leur fonctionnement repose sur la vibration de ses deux lames de manière piézoélectrique et oscille sur sa fréquence de résonance qui varie en fonction de la couverture ; lorsque ces lames sont recouvertes dans le produit, l'oscillation de la fourche vibrante est amortie et cela modifie l'amplitude de l'oscillation. Ce changement sera alors évalué et convertit en un signal de commutation [7].



Figure II- 10 Capteur à lames vibrante

II.2.12 Capteur de température PT100

Le capteur de température utilisé est de type PT100 qui sert à capter et à mesurer la température du fondoir, aussi appelé RTD (détecteur de température à résistance) fabriqué à partir de platine. Son fonctionnement est basé sur la variation de la résistance de sa platine en fonction de la température. Ce type de capteurs ont une large plage de température, plus stables en mesure et offrent une meilleure précision [8].



Figure II- 11 Capteur de température de type PT100

II.2.13 Débitmètre

Les débitmètres sont des instruments de mesure destinés à mesurer le débit volumétrique ou massique de fluides. De manière générale, ils sont installés en ligne dans la continuité de la canalisation véhiculant le fluide qu'ils mesurent [9].



Figure II-12 Débitmètre

II.2.14 Brixmètre

Le brixmètre ou réfractomètre est un instrument d'analyse utilisé pour détecter le taux du brix (quantité du sucre dans l'eau) et réguler notre système afin d'avoir une concentration de 65 brix tout au long du procédé ; Il permet une détermination précise de l'extrait total, exprimée en degrés Brix. Son fonctionnement repose sur l'utilisation d'un capteur optique haute résolution pour mesurer la réflexion totale d'un faisceau lumineux en contact avec un échantillon. La lumière totale réfléchie est calculée et la valeur de l'indice de réfraction est affichée sur l'instrument, qui peut alors être convertie en degrés brix [10].



Figure II-13 Brixmètre

II.2.15 Échangeur thermique

L'échangeur thermique utilisé est un équipement doté d'un tube en forme de serpent, qui a pour but de réchauffer le sirop du fondoir, en l'alimentant avec de la vapeur pour pouvoir créer une certaine température qui va dissoudre les grains restants au niveau du fondoir et afin de garder ce dernier à une température exigée, par la suite il y aura une récupération des condensats qui en résultent de la condensation de la vapeur d'eau.

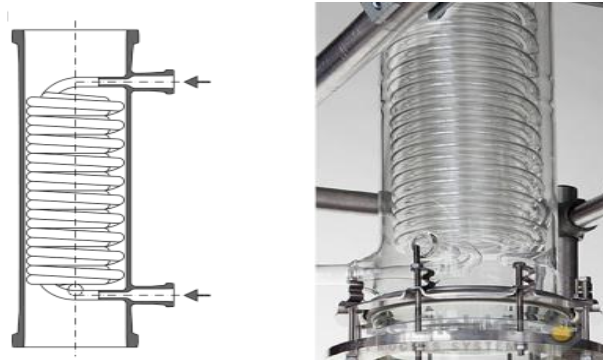


Figure II-14 Échangeur thermique de type serpent

II.3 Éléments de commande et de puissance

Les éléments de commande et de puissance rassemblent l'appareillage et les composants qui servent à piloter et à surveiller l'installation, en fournissant des informations en temps réel sur l'état de notre système.

II.3.1 Fonctionnements et rôles de l'ensemble d'appareillages utilisé [11]

L'appareillage électrique, se situe entre la production et l'utilisation de l'énergie électrique. Il assure le contrôle de l'énergie qui est transmise par les canalisations. Par conséquent, les fonctions fondamentales de cet appareillage sont : le sectionnement, la commande et la protection contre les perturbations majeures d'une installation électrique.

Sectionneur

Le sectionneur est un appareil mécanique de connexion capable d'ouvrir ou de fermer un circuit lorsque le courant est nul ou pratiquement nul. Sa fonction consiste à la mise d'une installation électrique ou une partie de cette dernière hors tension, permettant donc d'isoler (séparer) électriquement un circuit en toute sécurité lors d'opérations de maintenances ou de repérage.

Ce dispositif est souvent muni de fusibles et on parle alors de coupe-circuits sectionneur ou sectionneur porte-fusibles.

Les fusibles sont des organes de protection contre les surcharges et les courts-circuits, ils permettent d'interrompre le courant dans un circuit électrique en cas de défaut.



Un sectionneur porte-fusibles, quant à lui assure 2 fonctions principales :

L'isolation de la source d'alimentation électrique, ainsi la protection contre les courts circuits grâce aux fusibles de type aM intégrés.

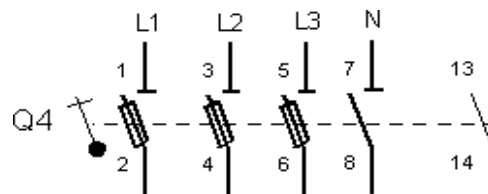


Figure II-15 Symbole d'un sectionneur porte fusible

⚡ Contacteur

Un contacteur est un appareil électromagnétique de commande et de contrôle capable de réaliser de nombreuses manœuvres sous des courants de charges normaux, il permet grâce à des contacts (pôles) de puissance d'établir le circuit entre le réseau d'alimentation et le récepteur.

Fonctionnement : Lorsque la bobine est alimentée elle génère un champ magnétique, les deux bilames à l'intérieur du contacteur vont se fermer pour son excitation, afin de pouvoir par la suite commander à distance l'équipement souhaité.

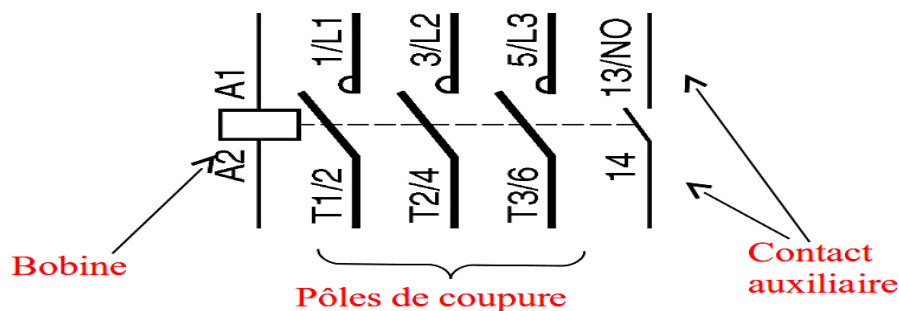


Figure II-16 Symbole des éléments d'un contacteur

✚ Bloc de contacts auxiliaire

Le bloc contacts auxiliaires, s'adaptent sur les contacteurs, permettant d'ajouter de 2 à 4 contacts supplémentaires aux contacteurs afin d'assurer l'auto-alimentation, le verrouillage des contacts ...etc. Ils sont normalement ouverts ou normalement fermés.

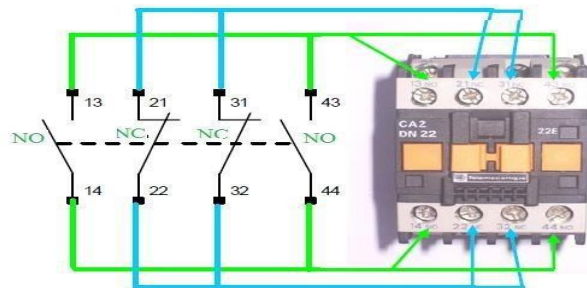


Figure II-17 Bloc de contacts auxiliaire

✚ Relais à 14 broches :

Le relais à 14 broches, est un dispositif de commande, composé de deux parties essentielles : bobine et contacts. Il est principalement utilisé dans les coffrets et les armoires électriques, pour commander les contacteurs à travers l'excitation de sa bobine, permettant ainsi de contrôler le courant électrique qui circule dans un circuit via ces contacts (NO/NC).



Figure II-18 Relais à 14 broches

✚ Relais de phase

Le relais de phase, est un équipement essentiel pour protéger les installations électriques. Il surveille les phases et les tensions, détectant tout défauts comme l'inversion des phases, un manque de phase, des sous-tensions ou des surtensions. Lorsque ces anomalies sont identifiées, le relais de phase génère des signaux d'alarme permettant de prendre les mesures de sécurité nécessaires. De plus, il vérifie l'ordre correct des phases (L1, L2, L3) et se déclenche si cet ordre est incorrect, assurant ainsi la fiabilité du système électrique [12].



✚ Relais thermique

Le relais thermique sert à protéger un récepteur contre les surcharges prolongées. Il protège efficacement contre les incendies d'origine mécaniques, les chutes de tension, les déséquilibres de phase et le manque d'une phase. En cas de surcharge, le relais thermique n'affecte pas directement sur le circuit de puissance. Au lieu de cela, un contact du relais thermique ouvre le circuit de commande d'un contacteur, qui coupe alors le courant dans le récepteur.



Figure II-19 Relais thermique

✚ Disjoncteur magnétothermique bipolaire

Le disjoncteur fait partie des organes de protection d'une installation électrique ; un disjoncteur magnétothermique bipolaire contrôle simultanément le courant sur deux conducteurs et assure un rôle de protection contre deux types de défauts. Son fonctionnement repose sur la coupure automatique du courant afin d'éviter tout danger. Il possède et applique donc une protection magnétique et une protection thermique ou magnétothermique sur les deux pôles. Ainsi, s'il détecte sur l'un des deux conducteurs un défaut de type court-circuit, via la protection magnétique, ou une surcharge, via la protection thermique, les deux seront coupés. Lors d'une coupure de circuit, après correction du défaut, le disjoncteur sera réarmable et prêt à fonctionner à nouveau.

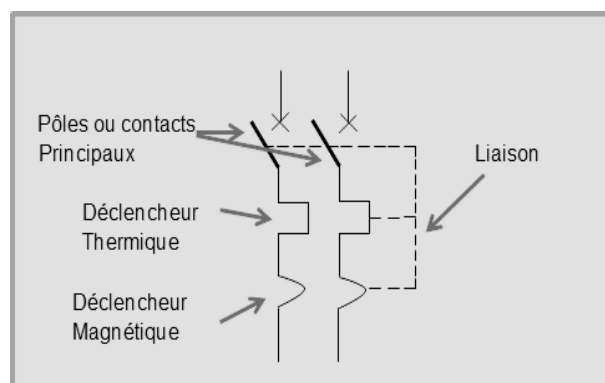


Figure II-20 Symbole du disjoncteur magnétothermique

✚ Répartiteurs et borniers

Un répartiteur est un élément qui s'installe sur le rail du tableau électrique et assure la répartition générale des câbles dans l'armoire électrique, permettant ainsi une distribution organisée du courant électrique. En revanche un bornier représente le point central de connexion où les câbles d'alimentation sont reliés avant d'être distribués vers les différents circuits et appareils du système.



Figure II-21 Répartiteur

II.3.2 Moteur asynchrone [13]

Les moteurs électriques sont des machines qui ont pour objectif de transformer l'énergie électrique en énergie mécanique. Les moteurs asynchrones sont le type de moteurs largement utilisé comme actionneurs électriques, constitués essentiellement d'un stator (partie fixe) et d'un rotor (partie tournante) ; caractérisés par leur simplicité de construction, leur grande fiabilité, et leur facilité d'entretien. Ils sont omniprésents dans tous les domaines industriels, ainsi dans de différents secteurs tels que l'usinage, les systèmes de pompages, etc.

❖ Principe de fonctionnement

Lorsque les trois bobines décalées de 120° insérées dans le stator sont alimentées par une tension alternative triphasée. Elles produisent un champ magnétique tournant, ce champ statorique va induire des courants dans les conducteurs du rotor, pour cela il est également appelé moteur à induction. Les forces de Laplace qui en résultent par la suite exercent un couple sur le rotor et par conséquent la rotation de l'arbre moteur.



Figure II-22 Moteur asynchrone

II.3.3 Variateur de vitesse

Le variateur de vitesse permet de contrôler la vitesse des moteurs en agissant sur leur fréquence. Il est composé de :

- Redresseur qui génère une tension continue
- Circuit intermédiaire agissant principalement sur le lissage et le filtrage
- Onduleur qui convertit la tension continue en alternative à fréquence variable

En principe, la tension alternative recueillie par le variateur est convertie en tension continue grâce à un redresseur, par la suite un circuit intermédiaire (inductance et condensateur) engendra le lissage et filtration en tension du signal de sortie du redresseur, passant ainsi à l'onduleur qui va assurer la conversion de la tension continue en tension alternative à fréquence variable, ce qui permettra de faire varier la vitesse de rotation du moteur [14].

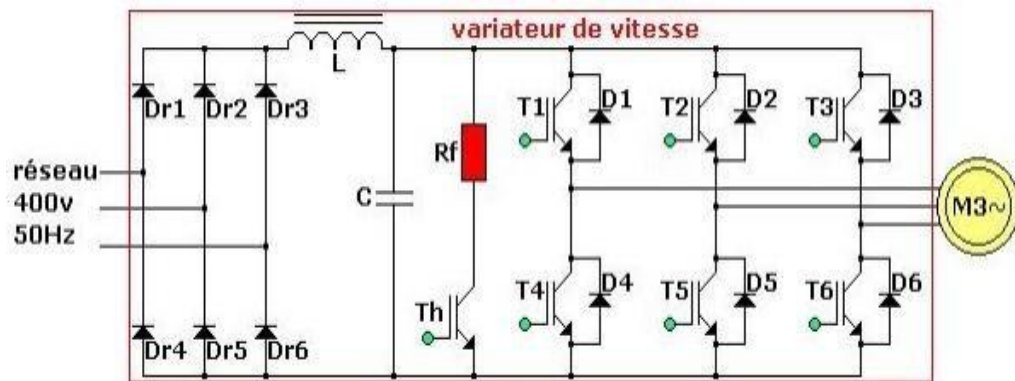


Figure II-23 Structure interne d'un variateur de vitesse

II.3.4 Démarreur progressif

Un démarreur progressif sert à limiter le courant d'appel au démarrage du moteur qui peut aller jusqu'à $(8 \cdot I_n)$. Il utilise des composants électroniques appelés thyristors pour contrôler la tension de démarrage appliquée au moteur. Plutôt que d'appliquer la tension nominale en une fois, les thyristors augmentent la tension progressivement à mesure que le moteur accélère. Le démarreur progressif est donc réservé aux situations où seul le contrôle au démarrage ou à l'arrêt est nécessaire [14].

II.4 Choix du démarrage des moteurs [15]

Lors de la mise sous tension d'un moteur asynchrone, celui-ci provoque un fort appel de courant ce qui peut provoquer des chutes de tension dans une installation électrique. Pour cela le choix d'un type de démarrage est essentiel afin de protéger les moteurs et limiter les appels de courants importants au démarrage. Ce choix donc doit être lié :

- Au type d'utilisation : souplesse au démarrage
- A la nature de la charge à entrainer
- Au type de moteur asynchrone
- A la puissance de la machine
- A la puissance de la ligne électrique
- A la gamme de la vitesse requise pour l'application

Parmi les modes de démarrages qui peuvent être appliqués aux moteurs asynchrones on distingue 04 types principaux :

- Le démarrage direct.
- Le démarrage étoile triangle.
- Le démarrage progressif (avec démarreur progressif).
- Le démarrage avec variateur (VFD).

II.4.1 Démarrage direct :

Le démarrage direct est le mode le plus simple pour un moteur asynchrone. Comme son nom l'indique, elle consiste à connecter directement le moteur au réseau électrique ; Ce type est généralement privilégié pour les moteurs asynchrones de petite puissance, les applications sans charge importante au démarrage, ou lorsque la source d'alimentation peut supporter de forts courants d'appel sans perturber le reste du réseau.

II.4.2 Démarrage étoile-triangle

Le démarrage étoile-triangle s'effectue en 2 temps :

- ✓ 1^{er} temps : couplage des enroulements en étoile et mise sous tension. Le moteur démarre à tension réduite.
- ✓ 2^{ème} temps : Suppression du couplage étoile, et mise en couplage triangle. Le moteur s'alimente sous pleine tension.

Cette méthode de démarrage, réduit considérablement le couple de démarrage du moteur. De ce fait, elle ne convient pas à des applications nécessitant un fort couple de démarrage.

II.4.3 Démarrage avec variateur de vitesse

C'est un mode de démarrage efficace utilisé lorsqu'il est nécessaire de contrôler et de faire varier la vitesse d'un moteur ; Il permet une meilleure gestion du couple de démarrage en ajustant la tension et la fréquence d'alimentation. Pour notre cas d'étude ce mode s'est imposé sur l'ensemble des moteurs afin d'avoir un bon contrôle de vitesse.

II.4.4 Démarrage avec démarreur

Ce type de démarrage a été destiné pour commander et contrôler le moteur de l'agitateur. Il constitue le mode servant à réduire et à limiter le courant et le couple au démarrage du moteur, en augmentant progressivement la tension aux bornes du moteur, procurant ainsi un démarrage progressif.



Figure II-24 Démarrage avec démarreur

II.5 Cahiers des charges

Ce cahier des charges va nous servir à élaborer les conditions à suivre et que nous devons respecter, afin d'obtenir le bon fonctionnement de la station de refonte du groupe agroalimentaire CEVITAL. Ces conditions sont les suivantes :

- 1- Dimensionnement de l'armoire électrique et des équipements selon les normes ;
- 2- Élaborations du programme d'automatisation qui servira à piloter le système ;
- 3- Réalisation d'une interface de supervision de l'atelier de refonte.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la problématique posée par l'équipe d'ingénieurs pour pouvoir modéliser le fondoir qui va résoudre cette problématique et ceci on s'appuyant sur un cahier de charges précis. Par la suite nous avons procéder à la présentation du fonctionnement de la station de refonte du sucre cristallisé et à la description globale de ces divers éléments, ainsi que l'ensemble d'appareillages et composants utilisés pour le pilotage de l'installation électrique.

Dans le chapitre qui suit, nous allons effectuer le dimensionnement électrique, la réalisation et l'étude de l'armoire qui servira à commander tout le système du procédé de refonte au niveau de la station.



Chapitre 3

*Dimensionnement et réalisation de l'armoire
électrique de la station de fonte*

Introduction

L'objectif de la réalisation d'une armoire électrique est d'assurer la distribution sûre et efficace de l'énergie électrique au sein d'un système ; Cela implique plusieurs étapes, dont la conception du schéma électrique, le câblage et la programmation de l'automatisme. Cette réalisation nécessite donc une étude approfondie et un dimensionnement adéquat de chaque composant de l'installation. Cela est nécessaire pour établir des configurations optimisées des éléments, garantir la continuité du service, la sécurité de chaque récepteur et du personnel, et maintenir une fonctionnalité ininterrompue.

Dans ce chapitre, nous nous attacherons à la collection de diverses informations (puissance des récepteurs, entrée-sortie de l'automate) pour l'installation, puis nous procéderons au dimensionnement électrique des câbles et des dispositifs de protection. Au final, nous concluons ce chapitre par l'étude et la réalisation de l'armoire de commande de la station de refonte du sucre cristallisé.

III.1 Étapes à suivre pour la réalisation d'une armoire électrique

La réalisation d'une armoire électrique consiste à suivre un ensemble spécifique d'étapes pour assurer un dimensionnement et une fonctionnalité optimal, ainsi que la protection de notre processus. Ces étapes sont essentielles à la réussite de tout projet électrique, car elles permettent de s'assurer que l'armoire est conçue et construite pour répondre aux besoins spécifiques de notre application [16].

- ✓ Collection d'informations sur le procédé de refonte
- ✓ Le choix des organes de commande et de puissance
- ✓ Le choix de l'alimentation stabilisée (AC/DC)
- ✓ Dimensionnement des sections des câbles et protections
- ✓ Le choix des modes de démarrage des moteurs
- ✓ Le choix du transformateur pour la commande
- ✓ Le choix de l'armoire et sa ventilation
- ✓ Réalisation du schéma de câblage de l'armoire
- ✓ Programmation de l'automate

III.2 Collecte d'informations sur l'installation

III.2.1 Puissance des récepteurs

Les puissances des récepteurs de la station de refonte du sucre sont données selon le tableau suivant :

Récepteurs	Tension [v]	P_u [KW]	I_n [A]	P_{abs} [KW]	ρ [%]	Cos (φ)	Longueur (m)
GMP1	380	11	22	13	87	0.8	50
GMP2	380	5.5	12	6.3	87	0.8	50
Nouvelle pompe d'envoi	380	22	41.78	25.28	87	0.8	50
Compresseur	380	40	75.96	45.97	87	0.8	50
Agitateur	380	5.5	12	6.5	84	0.8	50
Moteur du convoyeur	380	5.5	12	6.5	84	0.8	50
Moteur du palan électrique	380	2.2	4	2.6	84	0.8	50
Prise de courant	220	3	16	3	1	0.8	2

Tableau III-1 Données des récepteurs utilisés dans l'installation

III.2.2 Nombre d'entrées/sorties de l'automate

Le nombre d'entrées/sorties d'un automate dépend de la partie instrumentation et de type de technologies utilisées, il faut donc les regrouper en fonction de la nature des signaux. Après l'étude de la station de refonte, on distingue :

- 16 entrées logiques (DI, Digital Input)
- 15 sorties logiques (DO, Digital Output)
- 05 entrées analogiques (AI, Analogique Input)
- 02 sorties analogiques (AO, Analogique Output)

III.3 Détermination des sections de conducteurs [17]

La conception de toute installation électrique industrielle nécessite un bon dimensionnement des sections des conducteurs et des protections. Il est donc important d'estimer avec précision les courants et les puissances en jeu, ce qui va permettre de s'assurer que les conducteurs sont correctement dimensionnés, évitant ainsi les chutes de tension ou les surchauffes qui pourraient entraîner des défaillances d'isolation, des courts-circuits et des incendies. Pour cela, des dispositifs de protection sont ajoutés conformément aux

recommandations de la norme NF C 15-100 afin de sécuriser l'ensemble du système électrique. Afin de réussir son dimensionnement, il est essentiel de suivre les étapes suivantes :

1^{ère} étape : Détermination du courant maximal d'emplois I_B

2^{ème} étape : Détermination des facteurs de correction K

3^{ème} étape : Calcul des nouveaux courants admissibles $I'z$

4^{ème} étape : Détermination de sections des câbles

5^{ème}étape : Vérification des chutes de tension.

III.3.1 Détermination du courant maximal d'emploi I_B

Le courant maximal d'emploi des récepteurs est le courant qui est transporté par les conducteurs actifs. Il représente la puissance la plus élevée transportée par le circuit en fonctionnement normal. Pour déterminer ce courant, on utilise une méthode qui tient compte de la puissance de chaque circuit d'utilisation, pour lequel des coefficients différents sont attribués. La formule est comme suit :

$$I_B = Pu \cdot a \cdot K_C \cdot (Ks \cdot Ku \cdot Ke) \quad (1)$$

Avec :

- Pu : Puissance utile en [KW] qu'on peut calculer par la formule : $Pu = \eta \cdot Pn$ (2)
- Pn : Puissance nominale
- a : Facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement
- K_C : Facteur de conversion des puissances en intensités en A/KW
- Ks : Facteur de simultanéité
- Ku : Facteur d'utilisation des appareils
- Ke : Facteur d'extension

- Le courant d'emploi d'un jeu de barre est calculé par la somme des courants d'emplois :

$$I_{Bj} = \sum I_B \cdot Ks \cdot Ke \quad (3)$$

I_{Bj} : courant maximal d'emploi de jeu de barre.

- Le courant admissible principal de l'installation est calculé par la somme des courants des jeux de barre multiplié par le coefficient de simultanéité et d'extension :

$$I_Z' \text{ principal} = \sum I_Z' \cdot K_s \cdot K_e \quad (4)$$

$I_Z' \text{ principal}$: courant maximal admissible principal de l'installation.

III.3.1.1 Détermination de ses Facteurs

Les facteurs de l'équation du courant maximal d'emploi sont définis comme suit :

➤ **Facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement**

Le facteur a est calculé à base du rendement (η) et du facteur de puissance ($\cos \varphi$) du circuit considéré. Il est donné par l'équation (5).

$$a = \frac{1}{\eta \cdot \cos(\varphi)} \quad (5)$$

➤ **Facteur de simultanéité K_s**

Dans une installation industrielle l'ensemble des récepteurs installés ne fonctionnent pas simultanément. C'est pourquoi il est permis d'appliquer des facteurs de simultanéité à chaque regroupement, du fait que la détermination de ces derniers implique la connaissance détaillée de l'installation et de ses conditions d'exploitation

Les normes NF C 14-100, NF C 63-410 et le guide UTEC 15-105 donnent cependant des indications sur ce facteur selon le nombre de récepteurs et selon l'utilisation.

Nombre de récepteurs	Facteurs de simultanéité K_s
1	1
2 à 3	0.9
4 à 5	0.8
5 à 9	0.7
10 et plus	0.6

Tableau III-2 Facteur de simultanéité

➤ **Facteur d'utilisation K_u**

Le régime de fonctionnement normal d'un récepteur peut être tel que sa puissance utilisée soit inférieure à sa puissance nominale installée, d'où la notion de facteur d'utilisation. Le facteur d'utilisation s'applique individuellement à chaque récepteur. Ceci se vérifie pour des équipements comportant des moteurs susceptibles de fonctionner en dessous de leurs pleines charges.

Utilisation	Facteur d'utilisation K_u
Eclairage, conditionnement d'air	1
Chauffage électrique, chauffe d'eau	1
Prise de courant (n : nombre de prise de courant alimentées par le même circuit)	0.1 + (0.9/n) si n<6 0.6..... si n>6
Moteur électrique	0.75

Tableau III-3 Facteur d'utilisation

➤ **Facteur de conversion K_C**

Le facteur de conversion de la puissance en intensité, est le courant absorbé par un récepteur. Il est en fonction de la tension et de type de réseau.

Réseau	Tension d'alimentation	Facteurs de conversion K_C
Monophasé	127 V	8
	230 V	4.35
Triphasé	400 V	1.44

Tableau III-4 Facteur de conversion K_C

➤ **Facteur d'extension K_e**

Le facteur d'extension, aussi appelé facteur de réserve, a pour rôle de prévoir une augmentation de la puissance absorbée. Le coefficient varie de 1 à 1,3. Pour les installations industrielles on prend généralement 1,2.

III.3.2 Détermination de l'intensité assignée nominal I_n [18]

Le courant assigné nominal représente la valeur maximale du courant permanent que peut supporter le disjoncteur sans déclenchement. Ce courant est juste supérieur au courant d'emplois $I_n > I_B$, ces valeurs sont normalisées par la norme NFC 15-100

Intensités normalisées en A																	
1	2	3	5	10	16	20	25	32	40	50	63	70	80	100	125	160	200

Tableau III-5 Courant assigné nominal

III.3.4 Détermination du courant admissible I_Z [18]

Un courant admissible I_Z est la valeur du courant maximal que peut supporter un conducteur. Au-delà de cette valeur l'isolant se détériore ce qui peut entraîner des courts-circuits et des incendies.

$$I_B \leq I_r < I_Z \quad (6)$$

I_r : est le courant de réglage, il s'agit d'un multiplicateur du calibre de l'appareil qui a pour rôle de protéger contre les surcharges

Sachant que le courant I_Z dépend de type de protection appliqué au circuit considéré, de ce fait il sera choisi en fonction du dispositif de protection choisie.

Protection par disjoncteur : dans ce cas, le courant admissible est égal au courant assigné si le calibre de disjoncteur est réglable, ou juste supérieure si le calibre est non réglable.

$$I_Z = I_n \quad (7)$$

Protection par fusible : dans ce cas, la valeur du courant admissible est obtenue par la multiplication du courant assigné par le coefficient standard.

$$I_Z = K \cdot I_n \quad (8)$$

Avec :

$$K = 1.31 \quad \text{si} \quad In < 10 \text{ A}$$

$$K = 1.21 \quad \text{si} \quad 10 < In < 25 \text{ A}$$

$$K = 1.10 \quad \text{si} \quad In > 25 \text{ A}$$

III.3.4 Détermination du facteur de correction K [19]

Le facteur de correction, est le produit des facteurs qui sont liés à une lettre de sélection qui dépend du conducteur utilisé et de son mode de pose, le facteur K1 qui prend en compte le mode de pose, K2 l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte et K3 la température ambiante et la nature de l'isolant. Ce facteur est donné par la relation qui suit :

$$K = K1. K2. K3 \quad (9)$$

III.3.4.1 Lettre de sélection

La détermination de la lettre de sélection est la première chose à faire avant de procéder à la détermination des différents coefficients de correction, pour notre cas la lettre E sera appliquer pour sur tous les conducteurs de notre installation.

Type d'élément conducteur	Mode de pose	Lettre de sélection
Conducteurs et câbles multiconducteurs	- sous conduire profilé ou goulottes, apparent ou encastré - sous vide de construction sous plafond - sous caniveau, moulure, plinthes, chambranles	B
	- en apparent contre mur ou plafond - sur chemin de câble ou tablettes mon perforées	C
Câbles multi-conducteurs	- sur échelle, corbeaux, chemin de câbles perforé - fixé en apparent, espacés de la paroi - câbles suspendus	E
Câbles mono-conducteurs	- sur échelle, corbeaux, chemin de câbles perforé - fixé en apparent, espacés de la paroi - câbles suspendus	F

Tableau III-6 Lettre de sélection

III.3.4.2 Facteur de correction K1

Ce facteur est déterminé en fonction du mode de pose et de la lettre de sélection, à l'aide du tableau facteur de correction K1.

Lettre de sélection	Cas d'installation	K1
B	- câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants	0.70
	- conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants	0.77
	- câbles multiconducteurs	0.90
	- vide de construction et caniveaux	0.95
C	- sous plafond	0.95
B, C, E, F	- autres cas	1

Tableau III-7 Facteur de correction K1

III.3.4.3 Facteur de correction K2

Il tient compte de l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte. La séparation du câblage des circuits de commande par rapport au circuit de puissance est obligatoire afin de minimiser l'influence de cette mutuelle.

Lettre de sélection	Disposition des câbles jointifs	Nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12
B, C	Encastré ou noyés dans les parois	1.00	0.80	0.70	0.65	0.60	0.57	0.54	0.52	0.50	0.45
C	Simple couche sur les murs ou sur les planchers ou tablettes non perforées	1.00	0.85	0.79	0.75	0.73	0.72	0.72	0.71	0.70	0.70
	Simple couche au plafond	0.95	0.81	0.72	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.61	0.61
E, F	Simple couche sur les tablettes horizontales perforées ou tablettes verticales	1.00	0.88	0.82	0.77	0.75	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72
	Simple couche sur les échelles à câbles, corbeaux, etc.	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79	0.79	0.78	0.78	0.78

Tableau III-8 Facteur de correction K2

III.3.4.4 Facteur de correction K3

Le facteur K3 est déterminé en fonction du type de l'isolant et de la température ambiante, dans notre étude la température ambiante est estimée à 50°C.

Température Ambiante en °C	Nature de l'isolation		
	Elastomère (caoutchouc)	Polychlorure de Vinyle (PVC)	Polyéthylène réticulé Butyle, éthylène, propylène (PR)
10	1.29	1.22	1.15
15	1.22	1.77	1.12
20	1.15	1.12	1.08
25	1.07	1.07	1.04
30	1.00	1.00	1.00
35	0.93	0.93	0.96
40	0.82	0.87	0.91
45	0.71	0.79	0.87
50	0.58	0.71	0.82
55		0.61	0.76
60		0.50	0.71

Tableau III-9 Facteur de correction K3

III.3.5 Détermination du courant admissible équivalent Iz' [4]

Le courant admissible équivalent, est le courant qui tient compte des corrections dues aux conditions d'installation, on le détermine en effectuant le calcul suivant :

$$Iz' = Iz/K \quad (10)$$

D'où K : est la multiplication de tous les facteurs de correction

III.3.6 Sections de câbles

III.3.6.1 Détermination des sections de conducteurs actifs [18]

La détermination des sections de câbles conducteurs actifs, tient compte de la lettre de sélection, du type d'isolant, du nombre de conducteurs chargés et du courant admissible équivalent (corrigé) I_z' . Cette détermination sera faite grâce à un tableau utilisé dans le domaine industriel qui se trouve sur l'annexe A

III.3.6.2 Détermination des sections de conducteurs de protection PE [18]

Après détermination des sections de conducteurs actifs, on doit déterminer par la suite les sections de conducteurs de la mise à la terre PE ou de protection qui assure la liaison entre les masses des équipements de l'installation électrique, ainsi que les sections du neutre du PEN. Le tableau qui suit montre les sections de ces derniers en fonction des sections de phases :

Section des conducteurs des phases S_{ph} [mm ²]	Section des conducteurs PE [mm ²]	Section des conducteurs PEN [mm ²]	
		Cu	Al
$S_{ph} \leq 16$	S_{ph}	S_{ph}	S_{ph}
$16 < S_{ph} \leq 25$	16	S_{ph}	S_{ph}
$25 < S_{ph} \leq 35$	16	16	25
$35 < S_{ph} \leq 50$	$S_{ph}/2$	$S_{ph}/2$	25
$S_{ph} > 50$	$S_{ph}/2$	$S_{ph}/2$	$S_{ph}/2$

Tableau III-10 Section des conducteurs PE et PEN en fonction des sections des phases

III.3.7 Vérification des chutes de tensions [19]

L'impédance d'une canalisation est faible mais non nulle, lorsqu'elle est traversée par le courant d'emploi, une chute de tension se produit entre son origine et son extrémité. Or que le bon fonctionnement d'un récepteur est conditionné par la valeur de la tension à ses bornes ; il est donc nécessaire de limiter les chutes de tensions par un dimensionnement correct des canalisations d'alimentation. Cette chute est calculée par les formules du tableau ci-dessous :

Circuit	Chute de Tension [V]	Chute de tension Normalisée [%]
Triphasé	$\Delta U = 2I_B (R_L \cos \varphi + X_L \sin \varphi)$	$\Delta U / U \times 100$
Monophasé : phase et neutre		$\Delta U / U \times 100$
Triphasé équilibré	$\Delta U = \sqrt{3} I_B (R_L \cos \varphi + X_L \sin \varphi)$	$\Delta U / U \times 100$

Tableau III-11 Détermination des chutes de tension

Avec : $R = \rho * \frac{L}{S}$

- ρ : résistivité du conducteur en service nominal
 - $\rho = 22.5 \Omega \text{ mm}^2/\text{km}$ pour le cuivre
 - $\rho = 36 \Omega \text{ mm}^2/\text{km}$ pour l'aluminium
- $X = \lambda . L$; $\lambda = 8. 10^{-3} \Omega/\text{km}$

Les valeurs des chutes de tension obtenue lors de notre étude sont illustrées dans le Tableau N°3 de l'annexe (A).

III.4 Protection contre les courts-circuits [20]

Les fausses manœuvres qui peuvent être commises par le personnel, le contact direct ou indirect des fils électriques, conduisent à l'augmentation des intensités pouvant ainsi engendrer des incendies. De ce fait, le calcul des courants de court-circuit (I_{cc}) aux différents points de l'installation est indispensable pour la conception d'un réseau.

- Le calcul du courant de court-circuit triphasé maximal qui est utilisé pour :
 - La vérification du pouvoir de coupure du dispositif de protection (disjoncteur).
 - La vérification des contraintes thermiques des conducteurs.
- Le calcul du courant de court-circuit triphasé minimal qui est utilisé pour :
 - La vérification du seuil de déclenchement en cas de court-circuit lorsque le dispositif de protection est un disjoncteur.
 - La vérification des contraintes thermiques des conducteurs lorsque le dispositif de protection est un fusible.

III.4.1 Méthode de calcul des courants de court-circuit par impédance [20]

Le calcul des courants de court-circuit peut s'effectuer par plusieurs méthodes, qui sont proposées par le guide pratique C 15-105 qui complète la NF C 15-100. Durant notre étude on s'intéresse à la méthode de calcul par impédance, qui permet d'obtenir des valeurs avec précision. Son principe consiste à calculer l'impédance après avoir totalisé séparément les différentes résistances et réactances de la boucle de défaut, depuis et y compris la source d'alimentation du circuit, jusqu'au point considéré.

La relation du courant de court-circuit est donnée comme suit :

$$I_{cc} = \frac{m C U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{Rt^2 + Xt^2}} \quad (11)$$

Avec :

- I_{cc} : Le courant de court-circuit maximal
- m : Facteur de charge à vide, $m = 1.05$
- C_{max} : Facteur de tension $C_{max} = 1.05$ pour les courants maximaux
- C_{min} : Facteur de tension $C_{min} = 0.95$ pour les courants minimaux
- U_n : La tension du réseau
- R_t : La somme des résistances en série
- X_t : La somme des réactances en série

Pour calculer les différentes impédances dans le circuit le tableau N°4 de l'annexe A illustre la totalité des lois a utilisé.

III.4.2 Choix des dispositifs de protection contre les courts-circuits [20]

Pour assurer la protection contre les courts-circuits, des dispositifs de protection sont utilisés (les disjoncteurs, les fusibles) qui doivent remplir les critères suivants :

- Le disjoncteur doit déclencher pour une valeur minimale du court-circuit

$$I_{mag} < I_{ccmin}$$

I_{mag} : Le courant de réglage du déclencheur magnétique du disjoncteur.

- (P_{dc}) Le pouvoir de coupure des fusibles et des disjoncteurs doit être supérieur ou égale au courant de court-circuit maximum.

$$P_{dc \text{ fusible}} \geq I_{ccmax}$$

$$P_{dc \text{ disj}} \geq I_{ccmax}$$

- Le fusible doit se fondre pour une valeur minimale du courant de court-circuit

$$I_{fusible} < I_{ccmin}$$

III.4.3 Sélectivité des protections

La sélectivité est une méthode qui consiste à coordonner les dispositifs de protections, de sorte que, lorsqu'un défaut apparaît en un point quelconque de l'installation devra être éliminé par le disjoncteur placé immédiatement en amont du défaut, évitant la mise hors service du reste de l'installation ; permettant ainsi la sécurité de l'installation [21].

III.4.3.1 Choix de courbes de déclenchement des disjoncteurs [21]

Chaque disjoncteur supporte une intensité déterminée au-delà de laquelle il déclenche. La courbe du disjoncteur correspond au réglage du seuil de déclenchement et donc induire une réaction différente selon le type de courbe.

Les caractéristiques des courbes sont comme suit :

- Courbe B** : Déclenche en cas de surcharge de 3 à 5 fois le courant nominal. Ces disjoncteurs sont très utilisés dans les installations domestiques ;
- Courbe C** : Déclenche en cas de surcharge de 5 à 10 fois le courant nominal. Ces disjoncteurs sont très utilisés dans les installations industrielles ;
- Courbe D** : Déclenche en cas de surcharge de 10 fois le courant nominal ou plus. Ces disjoncteurs sont plus adaptés aux installations présentant de forts courants d'appels ;
- Courbe Z** : Déclenche en cas de surcharge de 2.4 à 3.6 fois le courant nominal ;
- Courbe MA** : Déclenche en cas de surintensité de 12 fois le courant nominal.

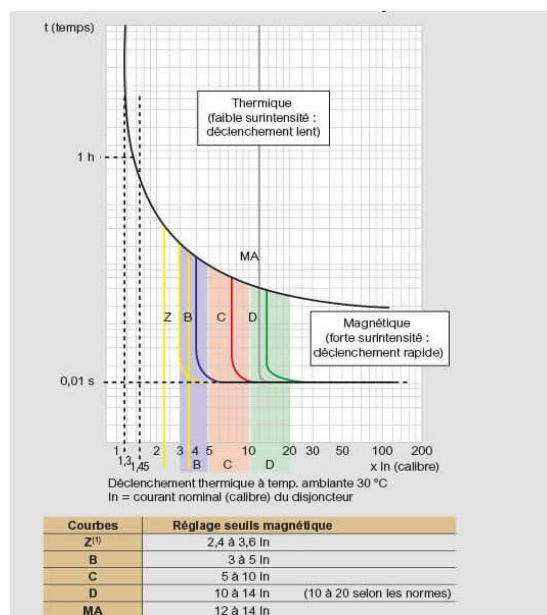


Figure III-1 Courbes de déclenchement des disjoncteurs

III.5 Dispositifs de protections des personnes et des moteurs

III.5.1 Protection des personnes

Un défaut d'isolement peut représenter de graves risques pour la vie humaine et des biens, entraînant des chocs électriques, incendies ou même des électrocutions. Il correspond à une fuite de courant s'observant lorsqu'un conducteur actif endommagé ou dénudé vient directement ou indirectement toucher la masse d'un matériel d'utilisation électrique. De ce fait la norme NF C 15-100 assure la sécurité de toutes les installations et de tous les équipements électriques, en respectant les caractéristiques d'isolation et en installant des disjoncteurs différentiels ou interrupteurs différentiels DDR (dispositif différentiel courant résiduel) pour protéger les personnes [22].

III.5.2 Protection des moteurs [23]

Les moteurs électriques sont utilisés pour entraîner de différentes charges, pour cela ils doivent être protégés pour leurs garantir une longue durée de vie. Pendant la phase de démarrage d'une machine, le couple moteur augmente, à cet effet elle fait un appel de courant très important, ce qui peut provoquer des perturbations électriques et un échauffement. De ce fait l'installation des dispositifs de protections est nécessaire afin d'assurer un bon fonctionnement.

- Le relai thermique : offrent une protection contre les surcharges
- Les disjoncteurs magnétothermiques, également appelé (disjoncteur moteur) : offrent à la fois une protection contre les courts-circuits et les surchauffes.

III.6 Régimes de neutre [24]

Lorsqu'il s'agit de distribuer l'électricité en toute sécurité, les régimes de neutre se manifestent. Ils désignent la manière dont est relié le conducteur de terre et les masses métalliques de l'appareillage électrique et optimisent les conditions d'exploitation du réseau tout en assurant la protection des personnes et des biens. Le choix du régime de neutre approprié dépend des besoins de l'installation électrique et des exigences de sécurité. La norme NF C 15-100 définit trois régimes de neutre qui sont caractérisés par deux lettres :

1^{ère} lettre : elle indique la situation du neutre de l'alimentation par rapport à la terre

- ❖ T : liaison directe du neutre à la terre.
- ❖ I : Isolation du neutre par rapport à la terre ou liaison avec la terre par une impédance.

2^{ème} lettre : elle indique la situation des masses métalliques par rapport à la terre.

- ❖ T : liaison des masses à la terre.
- ❖ N : liaison des masses avec le conducteur neutre de l'installation.

(C) : dans ce cas, le conducteur de protection PE et le conducteur neutre N sont confondus appelé donc PEN.

(S) : dans ce cas, le conducteur de protection PE et le conducteur neutre N sont séparés.

1 ^{ère} lettre : neutre du transfo (alimentation)		2 ^{ème} lettre : masses des appareils (coté utilisateur)	
Raccordé à la terre	T	T	Raccordé à la terre
Isolé de la terre	I	T	Raccordé à la terre
Raccordé à la terre	T	N	Raccordé au neutre

Tableau III-12 Régimes de neutre

III.6.1 Régime TT

Dans ce système, le neutre de l'alimentation est relié à la terre ; Les masses de l'installation sont aussi reliées à la terre. Cette solution est simple à l'étude et à l'installation, employée pour les réseaux de distribution basse tension. Lorsqu'un défaut d'isolement survient, il doit y avoir coupure : C'est la coupure au premier défaut par les dispositifs de protection DDR, car il peut causer une tension de contact dangereuse.

III.6.2 Régime TN

Dans ce système le neutre de l'alimentation est relié à la terre et les masses sont reliées au neutre. Le défaut qui survient est équivalent à un court-circuit Ph-N et doit y avoir coupure dès le 1^{er} défaut par protection contre les surintensités. Ce type regroupe deux liaisons :

TNC : Le neutre et le conducteur de protection sont confondus (PEN) et forment un circuit à 4 conducteurs, d'où l'utilisation d'un appareillage tripolaire. Le conducteur de protection PE ne doit en aucun cas être coupé. L'emploi de DDR est interdit en TNC et ce dernier est interdit pour des sections de conducteurs inférieures à 10 mm².

TNS : Le neutre et le conducteur de protection sont séparés (PE) et forment un circuit de 5 conducteurs d'où l'utilisation d'un appareillage tétrapolaire pour la distribution du courant de neutre. Il offre la possibilité de protéger les personnes grâce à un dispositif différentiel.

III.6.3 Régime IT utilisé dans l'entreprise

Dans notre projet d'étude c'est le régime IT qui a été utilisé, car lors de l'apparition du premier défaut celui-ci n'affecte pas sur l'installation, évitant ainsi la coupure et permettant une continuité du service. Ce régime de neutre est caractérisé par le neutre de l'alimentation qui est isolé de la terre ou relié à la terre par une impédance élevée et les masses sont reliées à la terre. Pour la détection de défauts, on équipera le neutre du transformateur par un contrôleur permanent d'isolement :

- Cas d'un premier défaut : le neutre du transformateur est relié à la terre à travers une impédance d'isolement supérieur à 1000Ω qui réduit la valeur du courant de défaut à un seuil très faible afin d'éviter le déclenchement des disjoncteurs de protection au 1^{er} défaut qui sera détecté par un contrôleur permanent d'isolement (CPI).

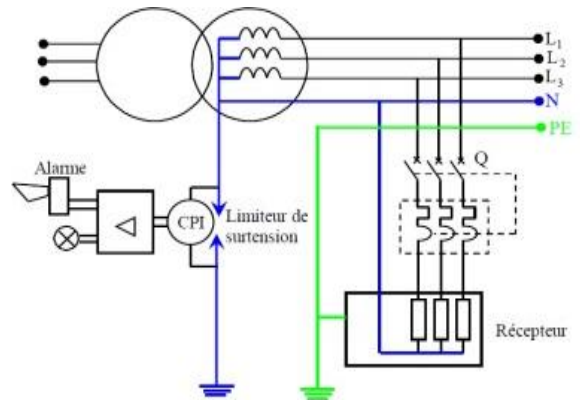
De ce fait le premier défaut est non destructif mais il doit être recherché et éliminé avant qu'un deuxième défaut d'isolement n'apparaisse.

$$I_d = V / (Z_n + R_n + R_u + R_{\text{défaut}}),$$

$$U_d = R_u * I_d \text{ (} U_d \text{ étant la tension de défaut).}$$

- Cas du deuxième défaut : s'il provient de la même phase que le premier défaut cela n'aura aucun impact sur le fonctionnement, cependant le déclenchement aura lieu si un court-circuit apparaît entre phases ou phase/neutre. Pour cela il faut impérativement couper le circuit au deuxième défaut.

$I_d = 0,8 * U / (Z_{\text{boucle}})$, avec $I_d = I_{\text{défaut}}$, $U =$ tension Ph/N et $Z_{\text{boucle}} =$ impédance de la boucle de défaut.



III.7 Choix de l'alimentation stabilisée (AC/DC)

L'alimentation stabilisée, utilise un éventuel redressement suivi d'un filtre capacitif pour fournir une tension continue stable qui sert à alimenter les capteurs ainsi que les différents organes de commande. Le choix de cette alimentation est basé sur :

- La tension d'entrée (monophasée ou triphasée)
- La puissance délivrée à sa sortie
- La tension de sortie

Dans notre installation, l'ensemble des capteurs et API sont alimentés par une tension de 24 V/DC.

III.8 Etude et réalisation de l'armoire électrique du fondoir

La sélection d'une armoire électrique ne doit pas être laissée au hasard. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte pour garantir un choix optimal. La taille de l'armoire doit correspondre à l'espace disponible et à la capacité requise pour accueillir tous les composants électriques. La capacité doit être envisagée en fonction de l'évolution future de l'installation. Les matériaux utilisés doivent également être pris en compte, en accordant une attention particulière à leur durabilité et à leur résistance aux environnements difficiles. Enfin, l'indice de protection (IP) de l'armoire est crucial : il indique le niveau de protection contre l'intrusion de substances solides et liquides. Un IP élevé est recommandé pour les environnements exposés à la poussière ou à l'humidité [25].

III.8.1 Construction d'une armoire électrique [26]

- ❖ Structure extérieur (enveloppe de confinement fermeture à clé) : c'est la structure métallique ou bien le boîtier externe qui englobe et contient l'ensemble d'appareillages électrique et électronique. Caractérisé par : la protection mécanique des circuits, contre les liquides et poussières IP > 30, chocs IK > 08.



Figure III-2 Structure extérieur de différentes dimensions

- ❖ Structure interne : c'est la structure intérieure de l'armoire qui se constitue :
Châssis : montants, plaque pleine ou platine perforée ;
Fixation des appareils : rails profilés ;
Circulation des conducteurs : goulottes, bracelets... ;
Liaisons des masses : visserie à picots, raccords flexibles ;
Ventilation : motorisation éventuelle, filtrage.

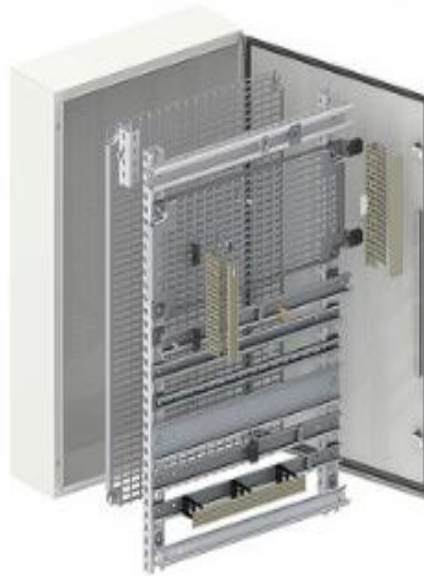


Figure III-3 Structure interne d'une armoire électrique

- ❖ Partie électrique : l'appareillage : c'est l'ensemble des composants et organes électrique (disjoncteurs, sectionneurs, contacteurs ...etc.) englobé par l'armoire et accroché aux différents rails.



Figure III-4 Composants d'une armoire

- ❖ Documentation (dossier électrique) : La documentation est obligatoire dans chaque armoire électrique, elle regroupe l'ensemble d'informations techniques sur cette dernière (Schémas développés des circuits, liste des composants et folio, carnet de câbles) ; Elle sera arrangée dans le porte-schémas dans l'armoire électrique et archivée dans les bureaux.

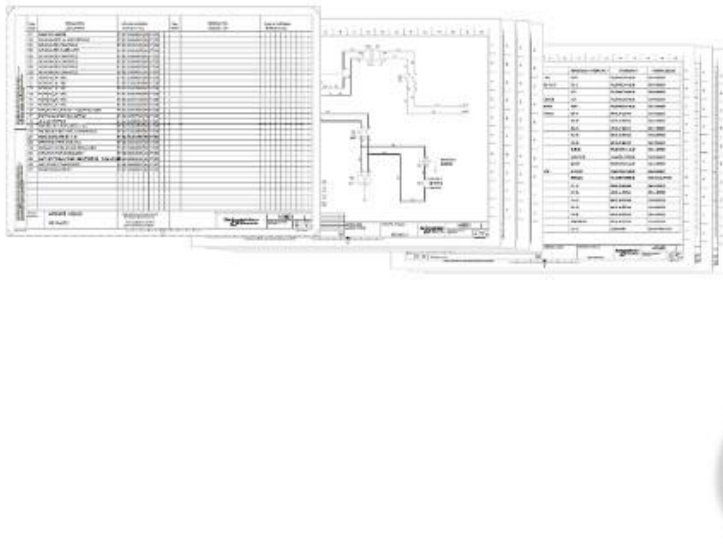


Figure III-5 Dossier électrique

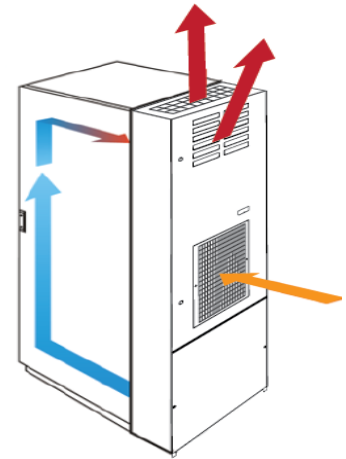
III.8.2 Liste des organes utilisé dans l'armoire du fondoir

Le choix de l'appareillage utilisé a été fait auparavant, par rapport aux données et aux informations obtenues dans l'étude du fondoir.

- Disjoncteurs principale et divisionnaire ;
- Répartiteurs ;
- Des disjoncteurs moteurs ;
- Portes fusibles ;
- Une alimentation stabilisée AC/DC ;
- Les contacteurs de puissance pour la commande des moteurs ;
- Relais thermique ;
- Relais 14 broches ;
- Relais de phase ;
- Un automate programmable industriel type siemens S7-300
- Variateurs de vitesse ;
- Démarreur ;
- Voyants lumineux ;
- Bouton poussoir Arrêt d'urgence ;
- Prise modulaire ;
- Eclairage intérieur pour armoire ;
- Borniers.

III.8.3 Choix du système de ventilation de l'armoire du fondoir

La ventilation naturelle d'une armoire électrique, n'est pas efficace pour refroidir et évacuer la chaleur dissipée par les appareils placés à l'intérieur de celle-ci et d'y maintenir une température de fonctionnement correcte qui doit garantir la longévité de ses composants. Pour cela on va s'intéresser à l'extraction de l'air chaud grâce à la ventilation mécanisée qui se fait à l'aide de ventilateurs à filtre (ventilateur + filtre) et d'une grille d'aération qui seront placées en haut de l'armoire électrique pour augmenter l'évacuation de l'air chaud dissipé des appareillages, ce qui contribue à maintenir une température adéquate [27].



III.9 Résultats de calculs analytiques

L'annexe A comporte un exemple détaillé sur les différents calculs analytiques.

III.9.1 Sections de câbles et calibres des disjoncteurs du fondoir

Après l'application de la méthode du calcul des sections de conducteurs et leur vérification par rapport aux chutes de tension, nous avons obtenu les résultats du tableau suivant :

Section	Conducteur actif	Conducteur du neutre	Conducteur à la terre	Calibre de disjoncteur	Courant de réglage
Récepteur					
GMP1	2.5	2.5	2.5	16	11
GMP2	4	4	4	25	21
Agitateur	2.5	2.5	2.5	16	11
Moteur du convoyeur à vis	2.5	2.5	2.5	16	11
Palan électrique	1.5	1.5	1.5	10	3
Nouvelle pompe d'envoi	10	10	10	50	41
Compresseur	25	16	25	70	69
Prise de courant	2.5	2.5	2.5	16	16

Tableau III-13 Sections des conducteurs et calibres des disjoncteurs

III.9.2 Différents courts-circuits en tout point de l'installation du fondoir

A partir des résultats obtenus durant le calcul des différents courants de court-circuit au niveau de l'installation du fondoir qui sont présentés dans le tableau N°5 de l'annexe A, nous pouvons extraire les données qui sont résumées dans le tableau qui suit :

Ces valeurs vont servir à choisir le pouvoir de coupure à partir de $I_{cc\ max}$ et les déclencheurs des disjoncteurs de protection à partir de $I_{cc\ min}$

	Courant de court-circuit maximal [A]	Courant de court-circuit minimal [A]
Disjoncteur du GMP1	537	486
Disjoncteur du GMP2	860	778
Disjoncteur du convoyeur M1	537	486
Disjoncteur de l'agitateur M2	537	486
Disjoncteur de la nouvelle pompe d'envoi	2418	1943
Disjoncteur du compresseur	5348	4839
Disjoncteur du palan électrique	322	291
Prise de courant	3102	2010

Tableau III-14 Différents courants de court-circuit de l'installation

III.10 Dimensionnement de l'installation par le logiciel Caneco-BT

Après le dimensionnement théorique de l'installation, les calculs analytiques qui ont été faits pour déterminer les sections des conducteurs et choisir les dispositifs de protection appropriés, nous avons jugé par la suite que l'utilisation d'un logiciel conforme aux règles en vigueur, va nous servir pour effectuer une étude comparative qui va nous mener à arriver à un résultat plus précis et conforme.

Pour cela, nous avons opté pour le logiciel Caneco-BT qui est très utilisé dans les domaines industriels et qui permet d'assurer un dimensionnement efficace.

III.10.1 Présentation du logiciel [28]

Caneco-BT, est un logiciel de conception, dimensionnement et schématique automatique d'installations électriques Basse Tension qui prend en charge de nombreuses normes nationales et internationales, dont IEC 60364, HD 384 et NF C 15-100 et détermine de manière économique les canalisations ainsi que tout l'appareillage de distribution à partir d'une base de données multi-fabricants. Il produit tous les schémas, documents nécessaires à la conception, la réalisation, la vérification et la maintenance de l'installation électrique.

III.10.2 Étapes de la réalisation [29]

Lors de la création d'un nouveau document, on va avoir une première fenêtre qui concerne le fichier constructeur, qui va afficher les différents fichiers de catalogues qui vont être des références pour caneco et pour l'utilisateur, permettant ainsi de choisir les divers équipements qui vont être utilisé dans l'installation.

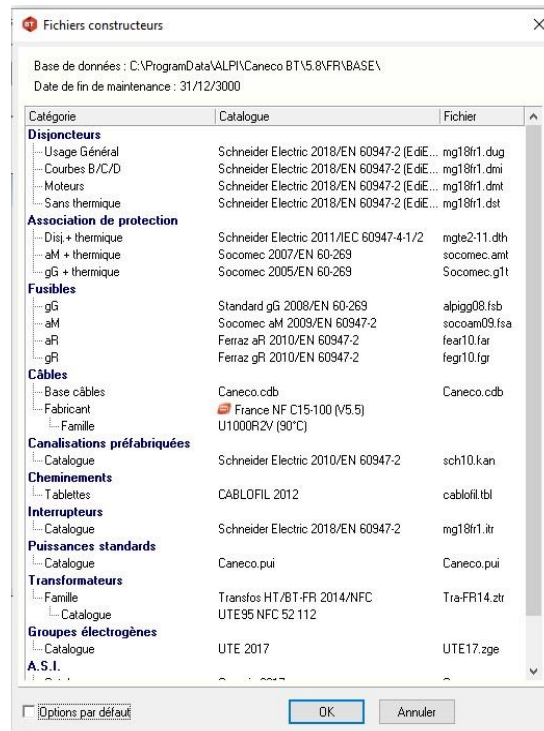


Figure III-6 Fichiers constructeurs sur Caneco_BT

Création de la source

Cette étape permet la détermination des caractéristiques de la source à utiliser (sa liaison avec le tableau générale basse tension (TGBT), sa protection...etc). Sachant que de différents types de sources sont proposés ; pour notre installation on a une source BT par IK, comme le montre la figure ci-dessous :

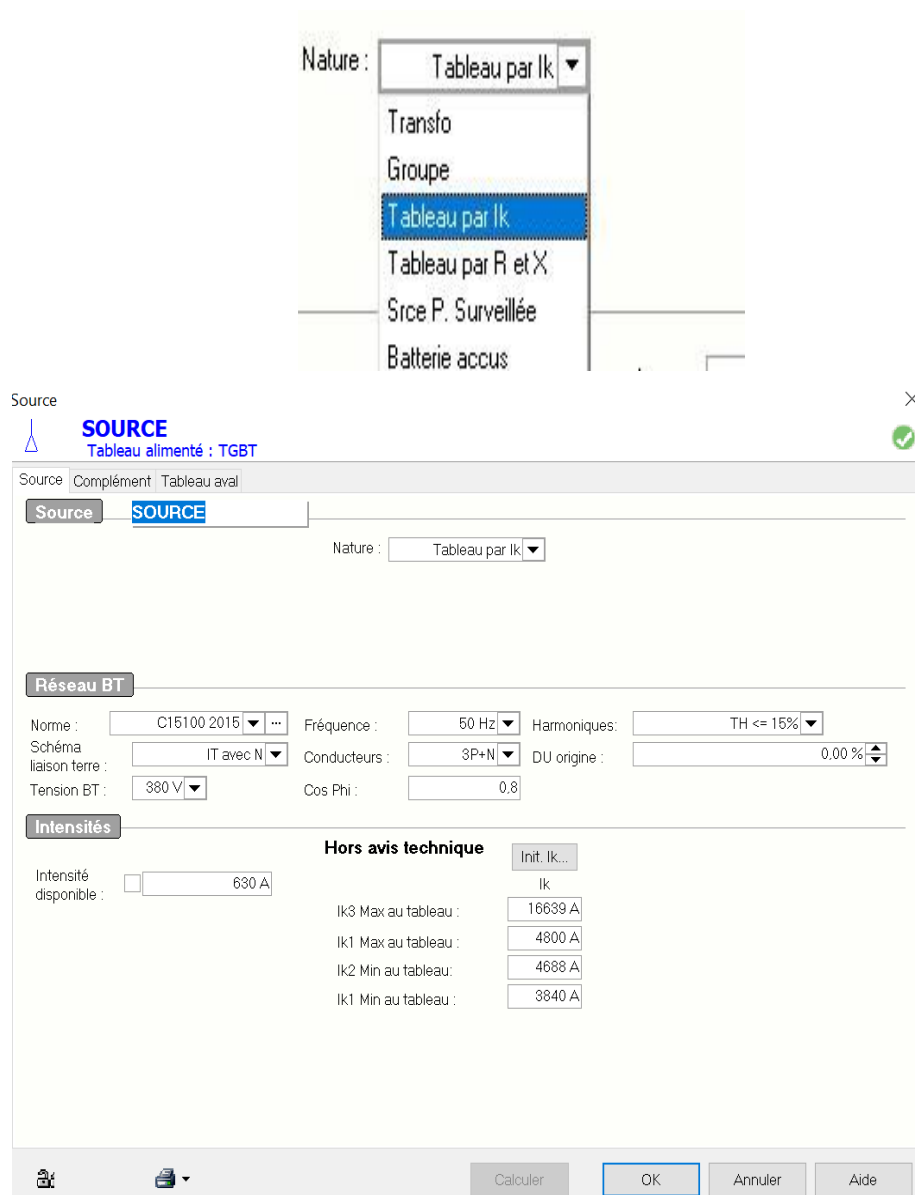


Figure III-7 Création de la source sur Caneco_BT

Fenêtre de choix du disjoncteur dans le catalogue

En choisissant l'organe de coupure situé au niveau de la source qui pourra supporter le courant qui va circuler à travers la canalisation et après lancement de calcul, caneco propose à son tour le choix idéal et le plus économique pour notre installation ; caractérisé par :

- In coupure (A) : courant assigné nominal ;
- Calibre (A) : calibre du déclencheur ;
- IrTh Min : courant de réglage thermique minimal du disjoncteur ;
- Icu (KA) : courant de court-circuit.

Par la suite, les résultats correspondant aux circuits source seront affichés après validation.

Choix disjoncteur dans catalogue Schneider Electric: Catalogue 2016-2017 Maj-02-2018

Choix Informations Fiche

Appareil de Coupure ou de Protection du tableau Tableau TGBT

Nom modèle	In coupure (A)	Calibre (A)	IrTh Min	Icu (kA)	Déclencheur
NSX630F Micrologic 2.3	630,00	630,00	252,00	36,0	Electronique
NSX630F Micrologic 5.3A	630,00	630,00	252,00	36,0	Electronique
NSX630F Micrologic 5.3E	630,00	630,00	252,00	36,0	Electronique
NSX630F Micrologic 6.3A	630,00	630,00	252,00	36,0	Electronique
NSX630F Micrologic 6.3E	630,00	630,00	252,00	36,0	Electronique
NSX630N Micrologic 2.3	630,00	630,00	252,00	50,0	Electronique
NSX630N Micrologic 5.3A	630,00	630,00	252,00	50,0	Electronique
NSX630N Micrologic 5.3E	630,00	630,00	252,00	50,0	Electronique
NSX630N Micrologic 6.3A	630,00	630,00	252,00	50,0	Electronique
NSX630N Micrologic 6.3E	630,00	630,00	252,00	50,0	Electronique
NSX630H Micrologic 2.3	630,00	630,00	252,00	70,0	Electronique
NSX630H Micrologic 5.3A	630,00	630,00	252,00	70,0	Electronique
NSX630H Micrologic 5.3E	630,00	630,00	252,00	70,0	Electronique
NSX630H Micrologic 6.3A	630,00	630,00	252,00	70,0	Electronique
NSX630H Micrologic 6.3E	630,00	630,00	252,00	70,0	Electronique
NSX630S Micrologic 2.3	630,00	630,00	252,00	100,0	Electronique
NSX630S Micrologic 5.3A	630,00	630,00	252,00	100,0	Electronique

Caractéristiques thermiques (A)

I Assigné Calibre Décl.

Ir Min Ir Max

Protection Court-Circuit (Court Retard)

Isd Min Tsd Min

Isd Max Tsd Max

Icu (kA)

Phases

IT 1 Pôle Aptitude à couper sur 1 pôle en IT

Protection Court-Circuit (Instantané)

Li Min Tfonct

Li Max Li Offable

Figure III-8 Catalogue du choix du disjoncteur

✚ Une affaire dans Caneco-BT

Une affaire caneco-bt se traite d'Amont (source) vers l'Aval (circuits terminaux), ce qui permet la détermination des câbles, des récepteurs et des protections. Pour cela on doit définir en premier la source et les caractéristiques générales de l'affaire, puis les circuits de distribution qui sont proposés sur une liste (circuits de style tableau), et terminer par les circuits terminaux.

✚ Calcul et résultats

Après création et détermination des caractéristiques des circuits, on lance le calcul pour chacun de ces derniers et les résultats seront afficher sur la fenêtre Résultats/Bibliothèque comme illustrer sur la figure suivante :

Résultats Bibliothèque	
Distribution : SOURCE	
Circuit conforme	
Libellé	Valeur
Câble	
Neutre	
PE ou PEN	
Critère IN	
In source	630,0 A
IB	630,0 A
IB neutre	
STH	
STH neutre	
dU total	0,00 %
Ik3 Max	16639 A
Ik2 Max	14410 A
Ik1 Max	4800 A
If Max	
Ik3 Min	5413 A
Ik2 Min	4688 A
Ik1 Min	3840 A
If	
Déclencheur	Electronique
Prix liaison	

Figure III-9 Fenêtre calcul des circuits

- **IB** : Courant nominal de la source en charge dans les conducteurs phases ;
- **dU (%)** : Chute de tension en bout des câbles sources (au niveau du TGBT) ;
- **Ik3 Max** : Il s'agit du courant de court-circuit maxi triphasé symétrique, au niveau du TGBT, et servant à la détermination du pouvoir de coupure de l'appareillage et au calcul des contraintes thermiques pour les circuits triphasés.
- **Ik2 Max** : Il s'agit du courant de court-circuit maxi biphasé symétrique, au niveau du TGBT, et servant à la détermination du pouvoir de coupure de l'appareillage et au calcul des contraintes thermiques pour les circuits biphasés ;
- **Ik1 Max** : Il s'agit du courant de court-circuit maximal monophasé symétrique, au niveau du TGBT, et servant à la détermination du pouvoir de coupure de l'appareillage et au calcul des contraintes thermiques pour les circuits monophasés ;
- **IK2 Min** : Il s'agit des courants de court-circuit minimal biphasé (IK2 : IK phase-phase), au niveau du TGBT lorsque le neutre est absent ;
- **Ik1 Min** : Il s'agit des courants de court-circuit minimal monophasé (IK1 : IK phase-neutre), au niveau du TGBT, lorsque le neutre est présent ;
- **If** : Il s'agit du courant de court-circuit de défaut (phase - PE), au niveau du TGBT, servant à la vérification de la condition de protection des personnes (contacts indirects).

✚ Schéma unifilaire de l'installation

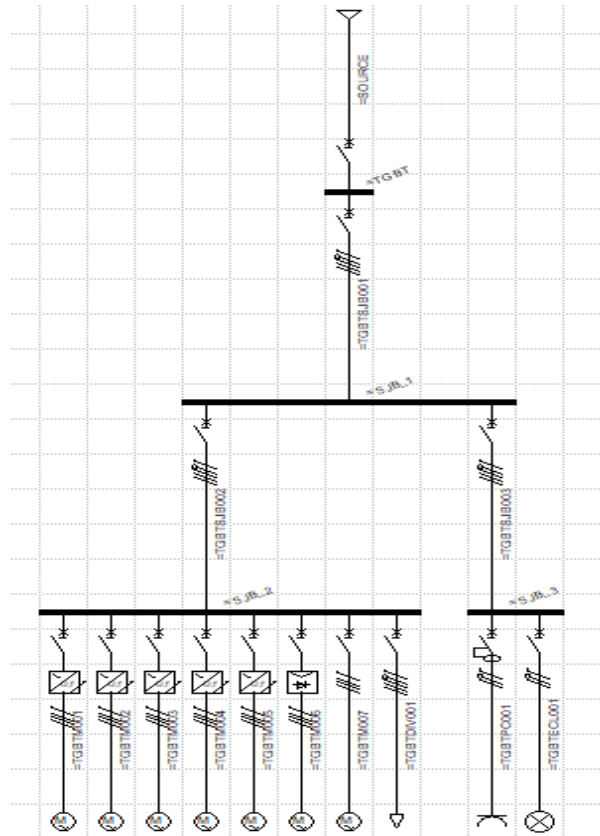


Figure III-10 Schéma unifilaire de l'installation du fondoir

✚ Bilan de puissance

Au final, Caneco-BT offre la possibilité d'effectuer un bilan de puissance complet pour une installation ce qui déterminera les intensités des circuits de distribution en fonction des circuits qu'ils alimentent.

III.10.3 Étude comparative

La méthode de l'étude comparative, consiste à analyser et à comparer les résultats calculés différemment et doit être menée jusqu'à son terme pour garantir la qualité et la validité des résultats obtenus.

Pour cela nous avons effectué cette étude en utilisant à la fois des calculs analytiques et par logiciel Caneco-BT, permettant ainsi de faire le bon choix des composants pour notre installation électrique.

Équipements	Sections de câbles calculées analytiquement S (mm ²)	Sections de câbles calculées par Caneco-BT S (mm ²)
GMP1	2.5	2.5
GMP2	4	4
Convoyeur à vis	2.5	2.5
Agitateur	2.5	2.5
Palan électrique	1.5	1.5
Nouvelle pompe d'envoi	10	10
Compresseur	25	25
Prise modulaire	2.5	2.5

Tableau III-15 Résultats de calculs analytiques et par Caneco_BT des sections de câbles

Équipements	Chutes de tension calculées analytiquement	Chutes de tension calculées par Caneco_BT
GMP1	1.67 %	2.08 %
GMP2	2.09 %	2.63 %
Convoyeurs à vis	1.74 %	2.16 %
Agitateur	1.74 %	2.16 %
Palan électrique	1.16 %	0.87 %
Nouvelle pompe d'envoi	1.68 %	2.13 %
Compresseur	1.13 %	1.48 %
Prise modulaire	0.10%	0.22 %

Tableau III-16 Résultats de calculs analytiques et par Caneco_BT des chutes de tension

Équipements	Iccmax (A) calculées analytiquement	Iccmax (A) calculées par Caneco-BT	Iccmin (A) calculées analytiquement	Iccmin (A) calculées par Caneco-BT
GMP1	537	600	486	400
GMP2	860	600	778	490
Convoyeur à vis	537	600	486	410
Agitateur	537	644	486	415
Palan électrique	322	644	291	415
Nouvelle pompe d'envoi	2148	4412	1943	3200
Compresseur	5348	7326	4839	6115
Prise modulaire	3102	3300	2010	2400

Tableau III-17 Résultats de calculs analytiques et par Caneco_BT des courants de courts_circuits

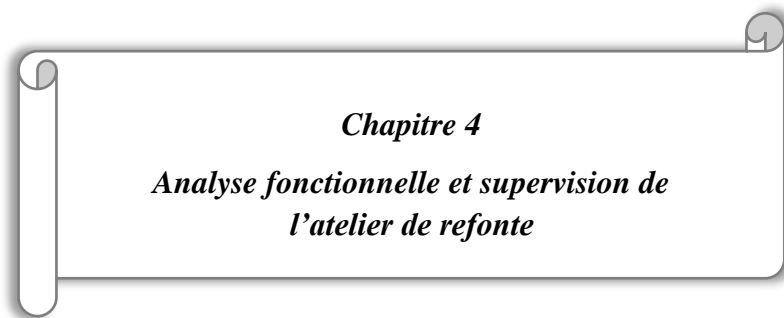
Après vérification on constate que le résultat de dimensionnement : des sections de câbles, ainsi que les sections des jeux de barre trouvée par les deux méthodes utilisées sont similaires. Cependant, il est à noter que les résultats du calcul des chutes de tension et des courants de court-circuit sont légèrement différents et cela peut-être en raison de certains facteurs non pris en compte dans le calcul analytique et pris par défaut par le logiciel.

Le dossier d'étude de cette installation par le logiciel Caneco-BT se trouve dans l'annexe B

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les étapes clés à suivre pour dimensionner une armoire électrique, commençant par la collecte d'informations techniques relatives à la station de refonte de sucre du groupe Cevital, ensuite nous avons procédé au dimensionnement des différentes sections de câbles, en prenant en compte les calibres des disjoncteurs, leurs courants de réglage et leurs capacités de coupure, puis nous avons fait le choix des protections afin d'assurer la continuité de service ainsi que la sécurité des personnes et des biens. Au final nous avons traité l'étude théorique par une étude pratique faite sur le logiciel caneco-bt.

Le prochain chapitre, abordera l'analyse fonctionnelle du système de refonte du sucre. Par la suite nous ferons une description globale sur la gamme S7-300, y compris les différents programmes qui automatiseront la station. Finissant par la création d'une supervision avec une interface homme-machine qui va permettre de visualiser, contrôler le processus de production et d'assurer la communication entre l'homme et l'automate.



Chapitre 4
Analyse fonctionnelle et supervision de
l'atelier de refonte

Introduction

La programmation d'un automate est cruciale pour automatiser un système industriel. Ce chapitre sera dédié à l'analyse fonctionnelle de la station de refonte en élaborant un grafset qui permettra de décrire le comportement du système automatisé. Nous aborderons par la suite, une présentation générale de l'automate S7-300 en tenant compte de sa structure matérielle et du logiciel de programmation STEP7 qui servira à automatiser la station de refonte du sucre en suivant un programme bien défini répondant aux exigences du cahier des charges. Enfin pour visualiser l'évolution de notre processus, nous élaborons la supervision avec WINCC flexible qui sera suivi par une simulation

IV.1 Analyse fonctionnelle du système

Après avoir examiné le processus de fabrication de sucre liquide du groupe Cevital et étudié le fonctionnement de l'atelier de refonte avec ses différentes parties, nous avons pu élaborer une analyse fonctionnelle détaillée qui se divise en trois étapes :

- Une étape préliminaire avant de mettre en marche ou nettoyer et stériliser l'installation
- Le fonctionnement en mode marche process et mode arrêt process ;
- Le fonctionnement en mode nettoyage et stérilisation.

Pour passer du mode marche process au mode nettoyage et stérilisation, il est nécessaire d'effectuer un arrêt du processus.

IV.1.1 Étape initiale avant la mise en marche

Il est essentiel que nous suivions cette étape avant de démarrer notre processus, elle est définie comme suit :

- Mettre manuellement la station sous tension grâce au disjoncteur principal et les voyants L1, L2, L3 vont s'allumer ;
- Réarmement des disjoncteurs moteurs et vérification des voyants associés à chaque départ ;
- Ouverture des vannes manuelle VM1 et VM2 qui se trouvent à l'entrée des deux groupes motopompes 1 et 2.

Si l'une de ces exigences n'est pas remplie, notre station ne va pas démarrer.

IV.1.2 Fonctionnement en mode marche processus

IV.1.2.1 Condition de la mise en marche

Toutes les étapes du procédé sont incluses dans cette section pour garantir que le sirop atteigne le niveau de brix requis et après avoir rempli les conditions nécessaires suivantes :

- ✓ Ouverture des vannes manuelle VM1 VM2 ;
- ✓ Le niveau de la trémie suffisamment plein ;
- ✓ Absence de défauts au niveau de la station ;
- ✓ Mode nettoyage et stérilisation (MNS) sont en mode arrêt

L'opérateur sur machine insère les données suivantes :

- ✓ Consigne du brix exigée
- ✓ Température du sirop
- ✓ Niveau très haut
- ✓ Niveau haut
- ✓ Niveau très bas
- ✓ Niveau bas

IV.1.2.2 Mise en marche en mode production

Lorsque l'opérateur active le bouton de démarrage (appui marche), une séquence d'actions spécifiques sera déclenchée et qui sont définies comme suit :

- Ouverture de la vanne VP10 de l'eau chaude, de sorte que lorsque le niveau du fondoir est au niveau bas, le moteur M2 de l'agitateur rentre en marche pendant le cycle de production et s'arrête une fois le niveau du fondoir est très bas ;
- Lorsque le fondoir atteint son niveau bas, ce dernier sera alors détecté par un capteur de niveau LT001. Un ordre de marche sera donné par la suite pour un variateur du convoyeur à vis, ainsi l'activation d'une boucle de régulation qui permettra la régulation de vitesse de la vis avec le débit grâce à l'ouverture et fermeture de la vanne VP10 de l'eau chaude pour assurer et avoir un brix conforme à la consigne ;
- Au moment présent, le groupe motopompe GMP1 rentre en marche après une temporisation de 5 secondes du fonctionnement, la vanne VP2 s'ouvre pour permettre la recirculation du mélange eau-sucre, afin que ce dernier soit entièrement fondu. ;
- Par débordement, le sirop va se transférer vers le BAC par effet de graviter, quand le niveau du bac atteint son niveau bas le groupe motopompe GMP2 démarre avec des

vitesses variables selon le capteur de niveau LT002. Si la densité du sirop mesurée par le brixmètre BX002 est conforme à la consigne, le VP7 s'ouvre. Dans le cas contraire, le VP6 s'ouvre pour permettre la recirculation du sirop vers le bac.

IV.1.2.4 Mise en arrêt du processus

Si l'opérateur veut interrompre le processus de refonte du sucre, il doit appuyer sur le bouton "arrêt processus". Cela déclenchera plusieurs actions simultanément, notamment :

L'arrêt du moteur M1 du convoyeur, la fermeture de la vanne VP10, la fermeture de la vanne VP2 et l'ouverture de la vanne VP3 pour vidanger le fondoir dans le bac. Une fois le fondoir atteint un niveau très bas, le groupe motopompe GMP1 s'arrête et la vanne VP3 se ferme. Le groupe motopompe GMP2 continue de pomper le sirop vers l'unité 600 de stockage et de chargement. Lorsque le niveau dans le bac atteint un niveau très bas, le groupe motopompe GMP2 s'arrête, la vanne VP7 se ferme simultanément avec l'ouverture des vannes VP2, VP3, VP6, VP8 et VP9 pour vider le fondoir et le bac. À la fin de ce processus, les vannes VP2, VP3, VP6, VP8 et VP9 se ferment.

IV.1.2.5 Analyse fonctionnelle par grafcet de mode marche/arrêt du processus

Nous avons utilisé un grafcet, qui est un graphe fonctionnel de commande par étapes de transition, pour traduire l'analyse fonctionnelle de notre mode de traitement. C'est un outil graphique puissant pour modéliser et comprendre le comportement d'un système technique, qui permet de décrire et d'analyser les différents comportements requis pour automatiser un processus et établit une correspondance séquentielle et combinatoire entre les entrées (les transferts d'informations de la partie opérative à la partie commande) et les sorties (les transferts d'informations de la partie commande à la partie opérative) [30].

Le GRAFCET comprend :

- Etape initiale : représente une étape qui est active au début du fonctionnement. Elle se différencie de l'étape en doublant les côtés du carré.
- Transition : la transition est une condition de passage d'une étape à une autre, représentée par un trait horizontal.
- Réceptivité : les conditions de réceptivité sont inscrites à droite de la transition.
- Etape : chaque étape est représentée par un carré repéré numériquement, elle représente une période de temps qui permet de réaliser une ou plusieurs actions.

- Action(s) : elles sont décrites littéralement ou symboliquement à l'intérieur d'un ou plusieurs rectangles reliés par un trait à la partie droite de l'étape et commandée que si l'étape est activée.
- Liaisons orientées : indique le sens du parcours.

Le grafcet du mode marche/arrêt du processus est illustré dans la fugue présentée ci-dessous.

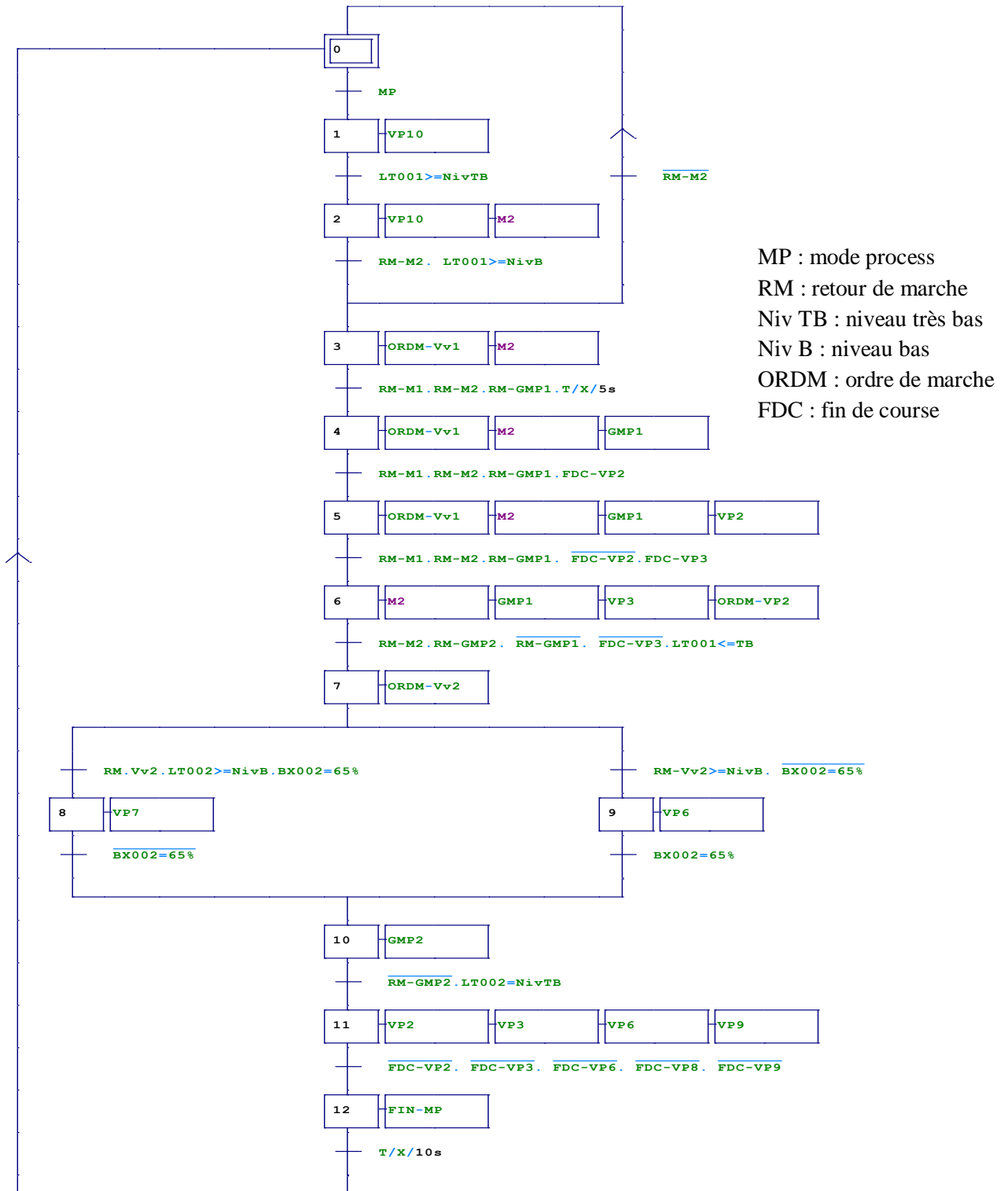


Figure IV-1 Grafcet mode marche/arrêt processus

IV.1.2.6 Sous-programme assurant l'ouverture et la fermeture de VP2 et VP3

Le sous-programme représenté par le grafcet ci-dessous permet de contrôler l'ouverture et la fermeture des vannes VP2 et VP3 selon le brix au niveau du fondoir, afin d'assurer la recirculation du sirop et bien dissoudre le sucre avant de le transférer vers le bac de réception.

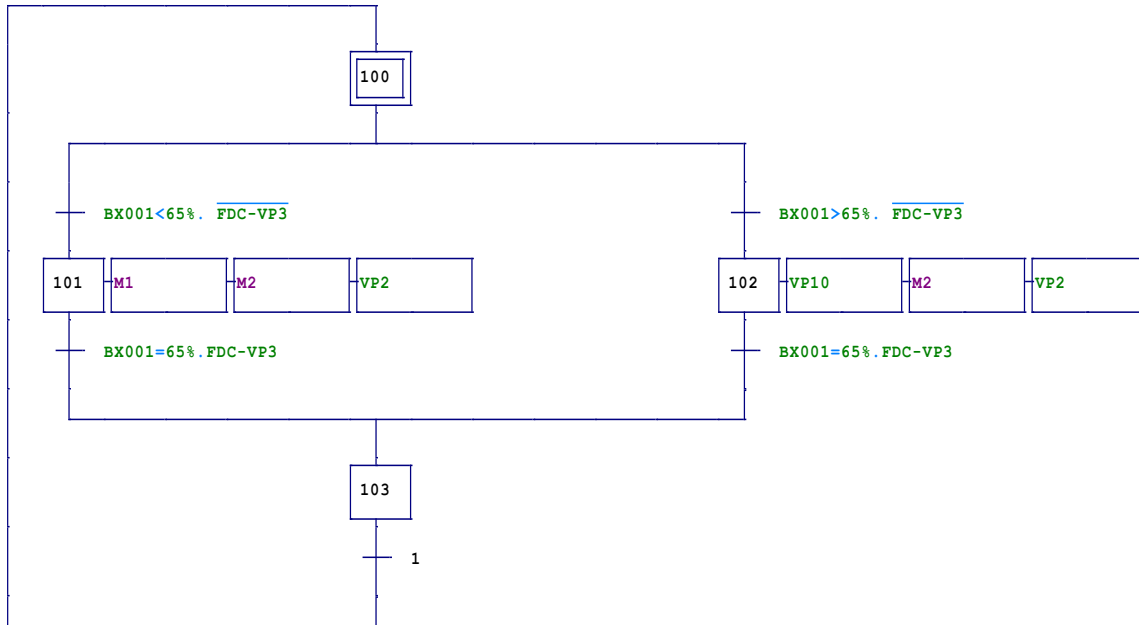


Figure IV-2 Sous-programme assurant l'ouverture et la fermeture de VP2 et VP3

IV.1.3 Fonctionnement en mode nettoyage et stérilisation

IV.1.3.1 Condition de la mise en marche

Cette section comprend toutes les étapes nécessaires pour effectuer un nettoyage et une désinfection, une fois que les conditions initiales suivantes du processus ont été remplies.

- ✓ Ouverture des vannes manuelles VM1 VM2 ;
- ✓ Les vannes pneumatiques sont toutes fermées ;
- ✓ Absence de défaut dans la station ;
- ✓ Le mode process est en arrêt (MP).

IV.1.3.2 Mise en marche en mode nettoyage et stérilisation

Lorsque l'opérateur active le bouton nettoyage et stérilisation, une séquence d'actions spécifiques sera déclenchée et qui sont définies comme suit :

- L'ouverture des vannes VP10 et VP4 pour remplir le fondoir et le bac à 90 % en même temps, ce niveau sera indiqué par les capteurs de niveaux LT001 et LT002. Ouverture des vannes VP2, VP3 et VP6, sachant que dernières restent ouvertes jusqu'à la fin de procès ;

- Une fois le fondoir et le bac sont remplis au maximum les vannes VP10, VP4 vont se fermer donc les groupes motopompes GMP1, GMP2 et l'agitateur M2 démarrants simultanément pour une durée de 5 minutes pour bien fondre le sucre cristallisé sur les différentes parties interne du procédé ;
- Si la température du fondoir est moins de celle exigée, la boucle de régulation va s'activer ;
- Après 5 minutes de l'agitation et du fonctionnement des GMP1, GMP2, nous aurons ces derniers en arrêt avec la fermeture de la vanne régulatrice VR et ouverture des vannes de vidange VP8 et VP9 pour vider les cuves et l'ensemble des tuyauteries ;
- Lorsque les capteurs de niveau LT001 et LT002 détectent un niveau très bas dans les cuves, les vannes VP1 et VP5 s'ouvrent pour laisser entrer de la vapeur pendant 5 minutes, afin de stériliser complètement les parties internes du processus. Une fois ce temps est écoulé, les vannes VP1, VP2, VP3, VP5, VP6, VP8 et VP9 se ferment, puis un voyant "fin de nettoyage et stérilisation terminé" s'allume sur le panel de supervision.

IV.1.3.3 Analyse fonctionnelle par grafcet de mode nettoyage et stérilisation

Dans cette partie nous avons traduit le cahier des charges du mode nettoyage et désinfection par un grafcet qui va illustrer les étapes du cycle de CIP (Cleaning-In-Place)

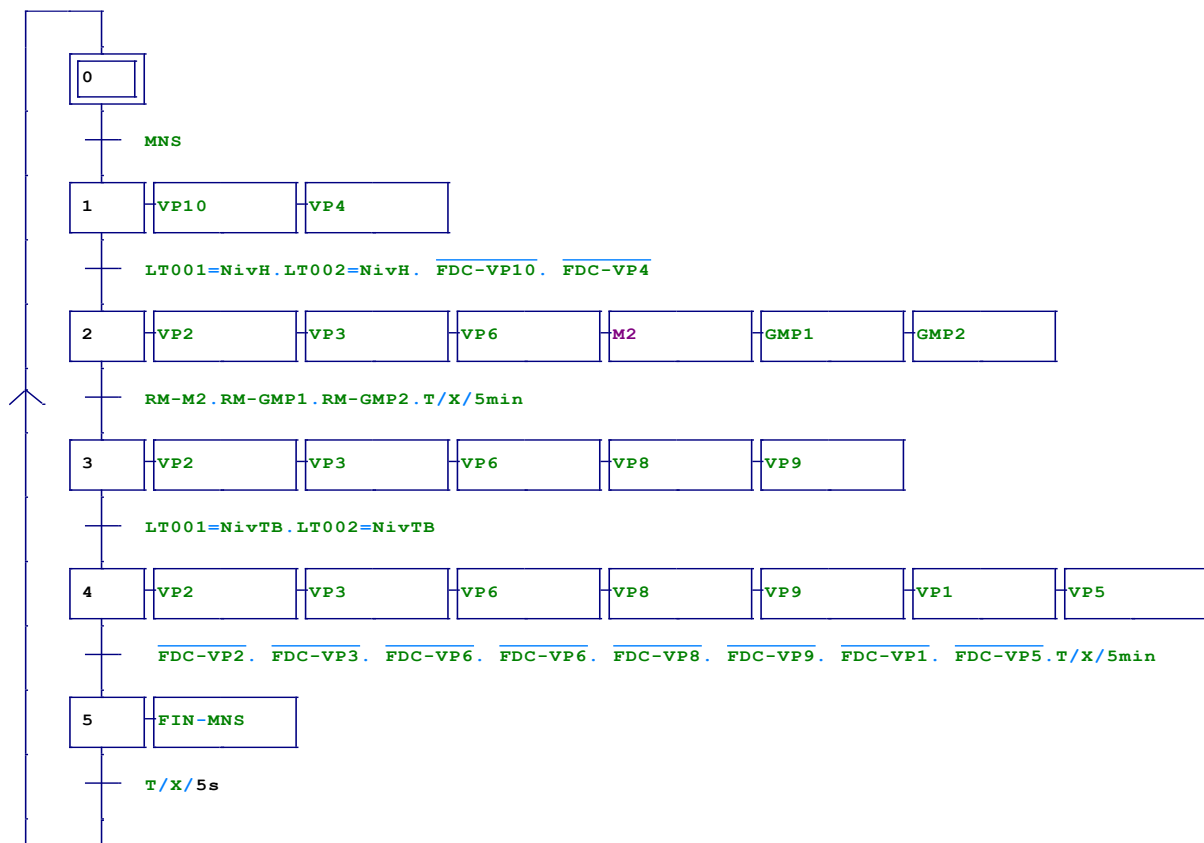


Figure IV-3 Grafcet mode nettoyage et stérilisation

IV.2 Système automatisé [31]

IV.2.1 Définition

Un système automatisé, est un ensemble de composants qui interagissent pour accomplir une tâche spécifique et pour lequel l'homme n'intervient que dans la programmation du système et dans son réglage.

IV.2.2 Structure d'un système automatisé

Un système automatisé est généralement composé de deux parties principales : la Partie Commande et la Partie Opérative ; la communication entre ces deux parties se fait par l'intermédiaire d'une interface qui est constituée par l'ensemble de capteurs et pré actionneurs.

- La partie commande : est responsable de la gestion globale du système et de la communication avec l'opérateur. Elle reçoit les consignes de l'opérateur et les traduit en ordres compréhensibles pour la partie opérative ;
- La Partie Opérative : quant à elle, est responsable de l'exécution des ordres émis par la partie commande, elle peut être composée de plusieurs éléments tels que les préactionneurs les actionneurs et les capteurs. Elle est également capable de fournir des comptes-rendus à la partie commande pour permettre à l'opérateur de suivre les progrès du système.

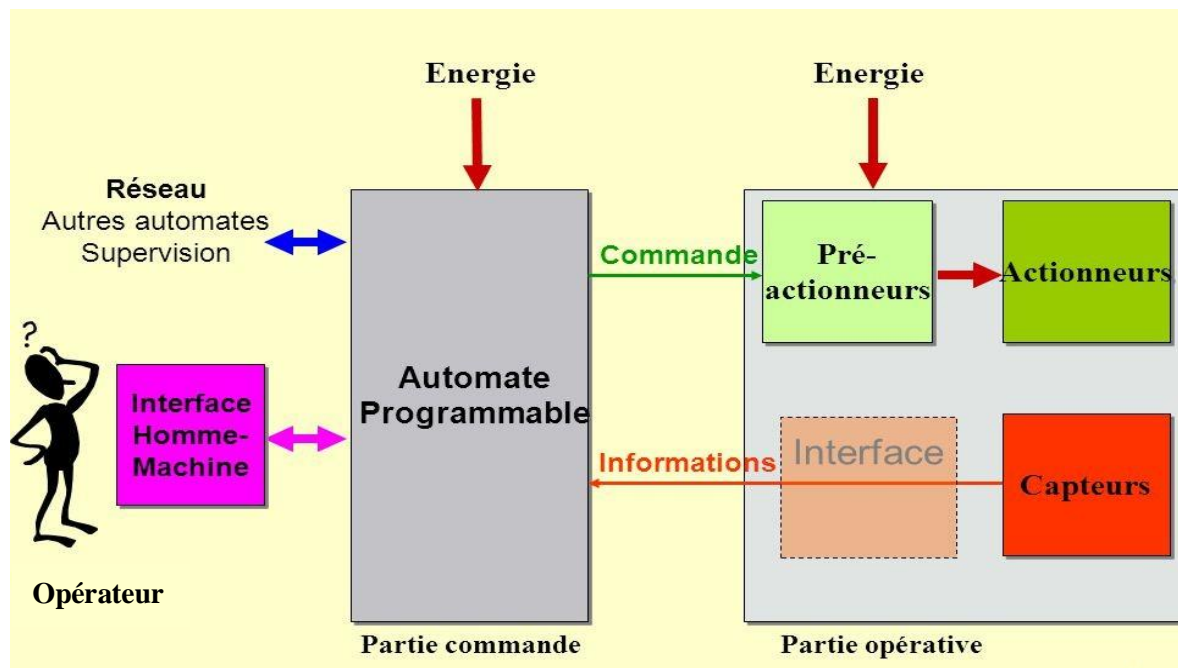


Figure IV-4 Structure d'un système automatisé

IV.3 Généralités sur les automates programmables industriels

IV.3.1 Définition d'un automate programmable industriel

Un automate programmable est un appareil électronique de forme modulaire ou compacte, destiné à la conduite et la surveillance en temps réel les installations industrielles et les machines de production sans intervention humaine en déclenchant automatiquement des processus programmés. Son fonctionnement est basé sur un programme préalablement défini, qui est stocké dans sa mémoire interne, permettant ainsi la réalisation des fonctions d'automatismes afin d'assurer la commande de préactionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logique, analogique ou numérique [31].

IV.3.2 Critères de choix d'un API

Le choix d'une API dépend de plusieurs facteurs à considérer pour garantir une sélection optimale en fonction des exigences du cahier des charges de l'installation à réaliser. Certains de ces critères incluent :

- Type de processeur utilisé, sa vitesse de traitement et d'analyse ;
- Le nombre et la nature des entrées/sorties ;
- le langage de programmation requis ;
- le type de communication avec d'autres systèmes ;
- la robustesse et la stabilité.

IV.3.3 Présentation de l'automate S7-300

L'automate programmable utilisé dans ce projet est le S7-300 de milieu de gamme de la famille SIMATIC S7 de Siemens. Il est caractérisé par sa modularité destiné à répondre de manière optimale à différentes tâches d'automatisation, proposant une large variété de modules d'entrées/ sorties TOR et analogiques pour la gestion de la quasi-totalité des signaux, ainsi que sa large gamme de CPUs adaptée à toutes les demandes de performances [32].



Figure IV-5 Automate S7-300

IV.3.3.1 Structure matérielle de l'automate S7-300

Un rack sera utilisé pour fixer notre automate programmable de la gamme S7-300, ainsi que tous les modules d'entrées/sorties (SM), qu'ils soient de type tout ou rien (TOR) ou analogique.

La figure suivante montre la constitution de l'automate S7-300 :

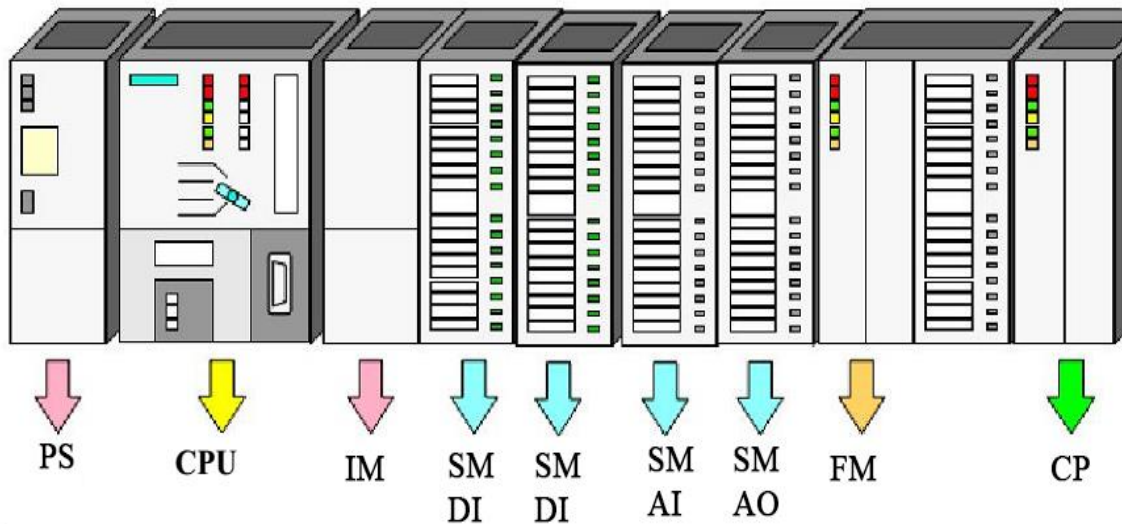


Figure IV-6 Structure matérielle de l'automate S7-300

PS : Module d'alimentation.

CPU : Unité centrale.

IM : Coupleurs.

CP : Processeurs de communication (PROFIBUS/ Industrial Ethernet).

FM : Modules de fonctions (fonctions spéciales).

SM : Modules de signaux (logiques et analogiques).

IV.3.3.2 Module d'alimentation

Ce module est conçu pour fournir la tension 24V DC nécessaire à l'alimentation de l'automate ainsi qu'à l'alimentation externe des circuits de charge. Il convertit la tension du réseau 230V AC en 24V DC. Différents modules d'alimentation sont disponibles avec des courants de sortie de 2A, 5A et 10A pour alimenter le S7-300.

IV.3.3.3 L'unité centrale CPU

La CPU est le cerveau de l'automate, elle est responsable sur l'exécution du programme utilisateur en lisant les entrées et en commandant les sorties. Elle surveille en temps réel les signaux émis par les entrées afin de modifier les sorties conformément à la logique du programme qui lui a été injecté. Différents types de CPU sur le S7-300 sont disponibles avec des caractéristiques et des performances adaptées aux besoins de l'utilisateur.

Pour l'installation du fondoir, nous avons choisi la CPU 316-2DP d'une référence 6ES7 315-2AF01-0AB0 qui possède les caractéristiques suivantes :

- Mémoire Alimentation 24V DC ;
- Mémoire de travail 128 Ko ;
- Vitesse d'exécution 0,3ms/kinst ;
- Deux ports de communication MPI+DP
- Modules entrées/sorties (SM) : 4 modules
- Entrées/sorties TOR : 16 entrées, 15 Sorties
- Entrées/sorties analogiques : 5 entrées, 2 sorties

IV.3.3.4 Modules d'entrées / sorties

Les modules d'entrées/sorties sont couramment utilisés pour collecter les signaux émis par les capteurs dans les installations automatisés, ou pour transmettre des signaux à la partie opérative pour mettre en action les actionneurs et préactionneurs. Les types les plus courants de modules d'entrées et de sorties sont les modules tout-ou-rien, qui traitent et transmettent des données booléennes (1 ou 0), et les modules analogiques, qui reçoivent ou transmettent des signaux continus dans le temps. Ces derniers peuvent être sous forme de tension (0-10 V) ou de courant (4-20 mA) [33].

Le nombre de modules d'entrées/sorties nécessaires pour notre automate dépend du nombre de capteurs, d'actionneurs et de pré-actionneurs utilisés dans le système. Dans ce projet, nous choisirons les modules d'entrées/sorties suivants :

IV.3.5 Types de données utilisées

Le tableau qui suit énumère les types de données utilisées lors de la programmation

Types de données	Taille du type de données
BOOL	1 bit
BYTE	8 bit
WORD	16 bit
INT	16 bit
DWORD	32 bit
DINT	32 bit
REAL	32 bit

Tableau IV-1 Types et tailles de données

IV.4 Programmation de l'API avec le logiciel STEP7 [34]

IV.4.1 Présentation du logiciel STEP7

Step7, est le logiciel de programmation pour les systèmes SIMATIC S7. Avec ce logiciel, nous avons toutes les fonctionnalités nécessaires pour configurer, paramétrer et programmer notre S7-300.

IV.4.2 Fonctions à suivre pour l'automatisation d'une installation sur STEP7

Une fois que l'on a bien compris les exigences détaillées du cahier des charges, il est conseillé de suivre les étapes suivantes pour garantir une automatisation efficace du dispositif.

- ✓ Création du projet
- ✓ Configuration, paramétrage du matériel et communication du réseau
- ✓ Création de la table mnémonique
- ✓ Élaboration du programme
- ✓ Chargement du programme
- ✓ Test du programme sur le simulateur PLCISIM
- ✓ Fonctions du diagnostic et d'exploitation de l'installation

IV.4.2.1 Gestionnaire de projets SIMATIC Manager

Le SIMATIC Manager est l'interface qui permet de configurer et programmer les projets d'automatisation. Il est le cœur du logiciel STEP7 et gère toutes les données liées à un projet. De plus, il lance automatiquement les applications nécessaires pour le traitement des données sélectionnées.



IV.4.2.2 Création du projet sur STEP7

Pour créer un nouveau projet sur STEP7, il existe deux options : utiliser « l'assistant de création de projet » ou le configurer soi-même, ce qui est un peu plus complexe mais permet une gestion plus aisée. Il suffira ensuite de sélectionner le type de CPU ainsi l'insertion du bloc organisationnel.

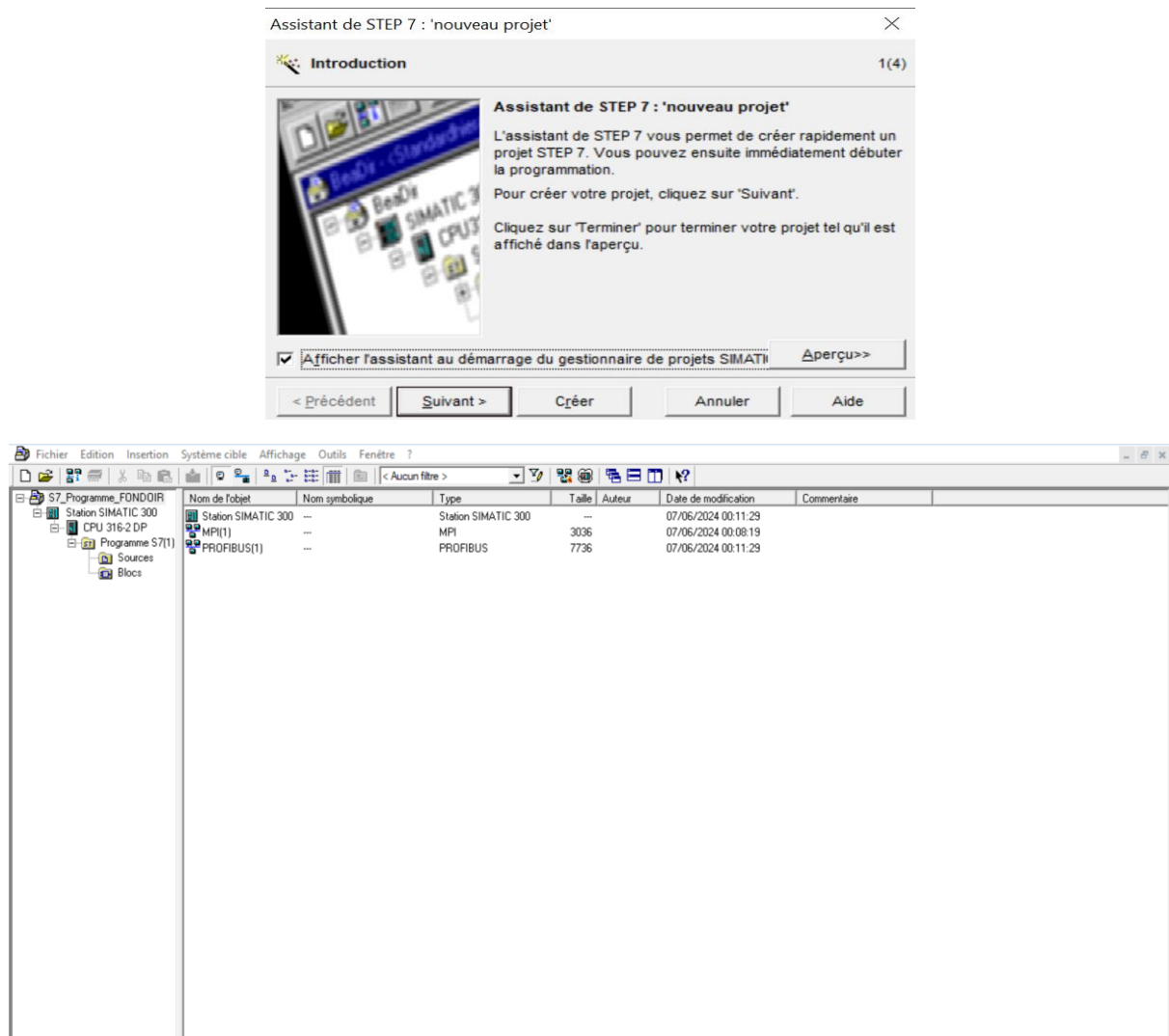


Figure IV-7 Création du projet sur step7

IV.4.2.3 Choix de la CPU

Il est nécessaire de sélectionner la CPU à utiliser, de ce fait une liste contient toutes les CPU compatibles avec la version de STEP7 utilisée. Il est donc important de nommer la CPU dans le champ correspondant.

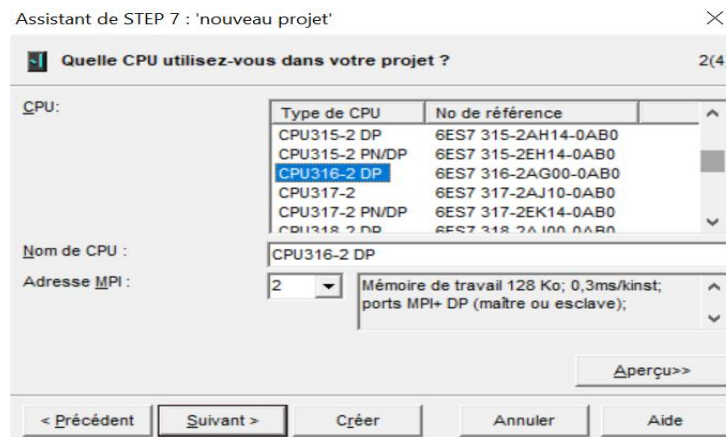


Figure IV-8 Sélection de type de la CPU

IV.4.2.4 Choix de langage de programmation de l'API sur STEP7

Le logiciel STEP 7 permet la programmation L'API S7-300 en proposant ces langages de bases suivant :

- Le schéma à contacts (CONT) : est un langage de programmation graphique. La syntaxe des instructions fait penser aux schémas de circuits. CONT permet de suivre facilement le trajet du courant entre les barres d'alimentation en passant par les contacts, les éléments complexes et les bobines.
- La liste d'instructions (LIST) : est un langage de programmation textuel ; Dans un programme LIST, les différentes instructions correspondent dans une large mesure, aux étapes par lesquelles la CPU traite le programme. Pour faciliter la programmation, LIST a été complété par quelques structures de langage évolué (comme, par exemple, des paramètres de blocs et accès structurés aux données).
- Le logigramme (LOG) : est un langage de programmation graphique qui utilise les boîtes de l'algèbre de Boole pour représenter les opérations logiques. Les fonctions complexes, comme par exemple les fonctions mathématiques, peuvent être représentées directement combinées avec les boîtes logiques.

Pour notre projet nous avons choisi d'utiliser la programmation en langage ladder (CONT) car il présente une similitude avec les schémas de câblage classique, de plus, ce langage est le plus couramment utilisé en raison de sa simplicité.

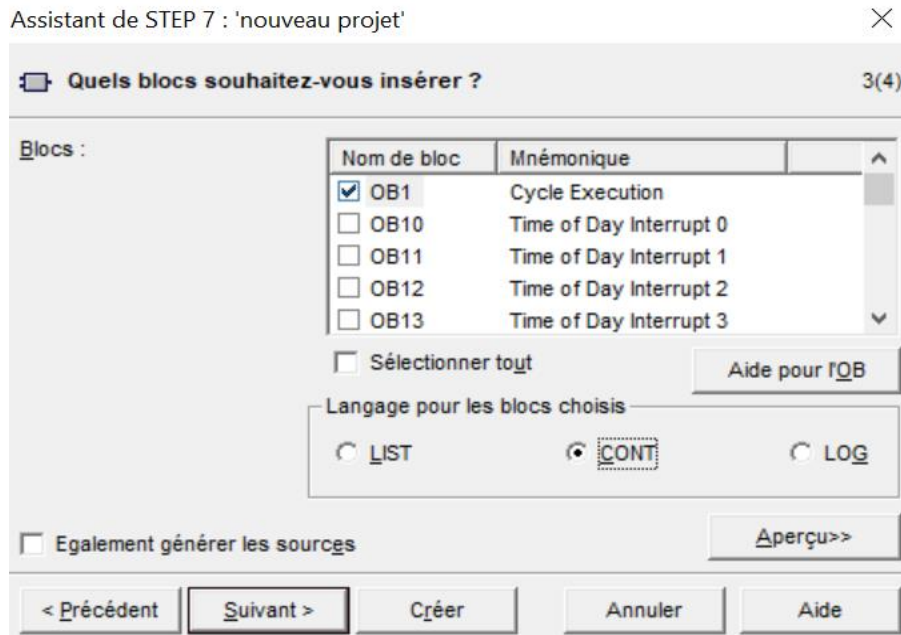


Figure IV-9 Sélection du bloc organisationnel et type de langage

IV.4.2.5 Configuration matérielle

Il s'agit d'une étape cruciale qui implique la disposition des châssis et des modules. Ainsi, quelle que soit la méthode de configuration d'une station les étapes suivantes doivent être respectées :

- Sélectionner un composant matériel dans la fenêtre " catalogue matériel"
- Faire glisser l'élément sélectionné dans la fenêtre correspondante

On commence alors par sélectionner le profilé support ou châssis (rack) qui sert d'élément mécanique de base pour la SIMATIC S7-300 et qui remplit les fonctions suivantes :

- Fixation des modules.
- Distribution de la tension.

Dans le S7-300, les modules sont disposés dans l'ordre et leur nombre est limité. Cela veut dire que le profilé support du S7-300 ne contient pas plus de 11 emplacements. Sachant que, la partie en dessous de la fenêtre représente un tableau qui donne une vue détaillée de ce profilé support inséré tels que les numéros de référence et les adresses des modules.

Emplacement	Module	Référence	Firmware	Adresse MPI	Adresse d'entrée	Adresse de sortie	Commentaire
1	PS 307 5A	6ES7 307-1EA01-0AA0					
2	CPU 316-2 DP	6ES7 316-2AG00-0AB0	V1.1	2			
3	DP				2047~		
4	DI32xDC24V	6ES7 321-1BL00-0AA0			0...3		
5	DO32xDC24V/0.5A	6ES7 322-1BL00-0AA0				0...3	
6	AI8x16Bit	6ES7 331-7NF10-0AB0			752...767		
7	AO2x12Bit	6ES7 332-5HB81-0AB0				762...765	
8							
9							
10							
11							

Figure IV-10 Configuration matérielle

IV.4.2.6 Blocs d'utilisateurs existant sur STEP 7

Le STEP 7 permet de répartir le programme utilisateur en différents blocs de programme ; des blocs d'organisation (OB), des blocs fonctions (FC) et des blocs fonctionnels (FB). Ainsi que ces deux derniers seront appelés par le programme principal (OB1).

➤ Bloc d'organisation OB

Ce bloc constitue l'interface avec le système d'exploitation de la CPU, il est automatiquement appelé par celui-ci et est exécuté de façon cyclique. Il contient généralement peu d'instructions et essentiellement des appels de blocs FC, FB.

➤ Fonctions FC

Ce sont des blocs de code qui ne dispose pas d'espace mémoire, il n'a donc pas besoin d'un bloc de données DB. Cependant, les données locales seront perdues après l'exécution de la fonction. Si on veut mémoriser ces données, il est obligatoire d'utiliser des opérandes globaux qui sont nécessaire pour la programmation des fonctions utilisées.

➤ Fonction mise à l'échelle FC105

Le bloc de fonction FC105 permet de convertir la valeur d'entrée (une mesure analogique) en une valeur réelle comprise entre une limite inférieure (LO_LIM) et une limite supérieure (HI_LIM).

➤ Bloc de données DB

Ce bloc de données sert uniquement à la sauvegarde des informations et des données de blocs de codes.

➤ **Bloc fonctionnel FB**

C'est un bloc de code qui dispose d'un espace mémoire. Lors de l'appel d'un FB, un bloc de données (DB) peut lui être accordé, il aura donc accès aux données contenues dans ce DB d'instance local.

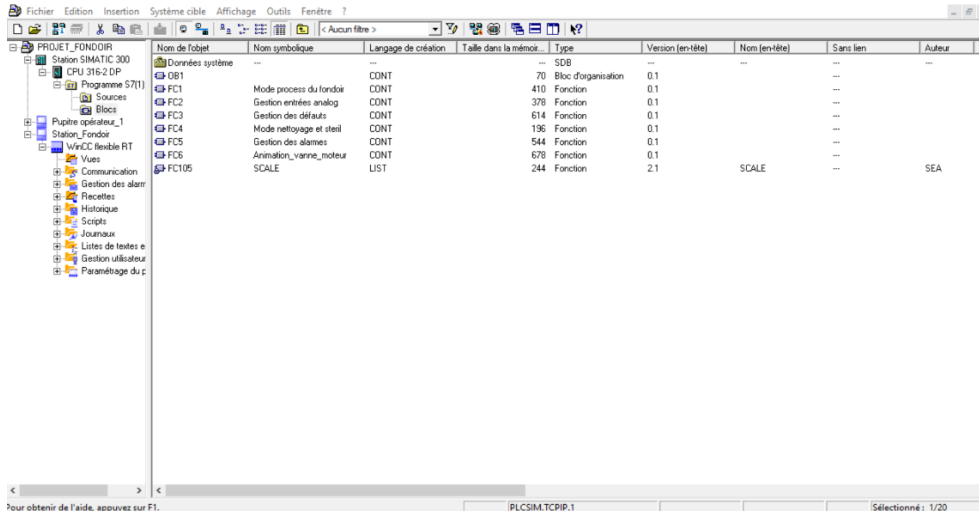


Figure IV-11 Blocs utilisés pour la programmation

IV.4.2.7 Table des mnémoniques

Lorsqu'un utilisateur crée un nouveau programme step7, une table mnémونية est générée automatiquement. Cette table a pour but de faciliter la gestion du programme et de le rendre plus compréhensible. Elle est particulièrement utile lorsque le programme contient un grand nombre de variables à définir et à utiliser lors de la programmation ; pour cela nous avons définis pour chaque opérande utilisée un nom d'adresse, un type de donnée ainsi qu'un commentaire afin d'améliorer la lisibilité et la clarté du programme.

Etat	Mnémonique	Opérande	Type de d	Commentaire
6	Alarme 5	M 3.1	BOOL	niveau du bac est très bas
7	Alarme 6	M 3.0	BOOL	niveau du bac est très haut
8	Alarme 7	M 2.7	BOOL	Brix inférieur à 65% au niveau du fondeur
9	Alarme 8	M 2.6	BOOL	Brix supérieur à 65% au niveau du fondeur
10	Alarme 9	M 2.5	BOOL	Brix inférieur à 65% au niveau de bac de réception
11	Alarme_M1	M 2.4	BOOL	Absence retour de marche de la vis M1
12	Alarme_M2	M 2.3	BOOL	Absence retour de marche de l'agitateur M2
13	Alarme_pompe1	M 2.2	BOOL	Absence retour de marche du GMP1
14	Alarme_pompe2	M 2.1	BOOL	Absence retour de marche du GMP2
15	Alarme_vannes	M 2.0	BOOL	discordance des vannes
16	Animation_agitat...	MW 154	WORD	Animation état de l'agitateur (arrêt, marche ou en défaut)
17	Animation_GMP1	MW 168	WORD	Animation état du GMP1 (arrêt, marche ou en défaut)
18	Animation_GMP2	MW 170	WORD	Animation état du GMP2 (arrêt, marche ou en défaut)
19	Animation_vanne...	FC 6	FC 6	
20	Animation_Vis_M1	MW 150	WORD	Animation état de la vis (arrêt, marche ou en défaut)
21	Animation_VP1	MW 172	WORD	Animation état de la vanne VP1 (ouverture, fermeture ou en défaut)
22	Animation_VP10	MW 152	WORD	Animation état de la vanne VP10 (ouverture, fermeture ou en défaut)
23	Animation_VP2	MW 158	WORD	Animation état de la vanne VP2(ouverture, fermeture ou en défaut)
24	Animation_VP3	MW 160	WORD	Animation état de la vanne VP3 (ouverture, fermeture ou en défaut)
25	Animation_VP4	MW 166	WORD	Animation état de la vanne VP4 (ouverture, fermeture ou en défaut)
26	Animation_VP5	MW 174	WORD	Animation état de la vanne VP5 (ouverture, fermeture ou en défaut)
27	Animation_VP6	MW 162	WORD	Animation état de la vanne VP6 (ouverture, fermeture ou en défaut)
28	Animation_VP7	MW 164	WORD	Animation état de la vanne VP7 (ouverture, fermeture ou en défaut)
29	Arrêt_nettoyage	M 5.3	BOOL	Arrêt nettoyage (maintenance)
30	Arrêt_process	M 3.6	BOOL	Arrêt process (maintenance)
31	B-MHS	M 4.3	BOOL	Bouton mode nettoyage et stérilisation
32	BP_marche_net...	M 5.1	BOOL	Bouton poussoir mode nettoyage
33	BP_marche_proc...	M 4.2	BOOL	Bouton poussoir mode process
34	Défaut_agitateur...	M 0.1	BOOL	
35	Défaut_absence...	M 0.2	BOOL	Absence air comprimé sur les vannes
36	Défaut_AU_general	M 0.3	BOOL	Défaut arrêt d'urgence général
37	Défaut Disj GMP1	M 5.4	BOOL	Défaut disjonction de la pompe GMP1

Figure IV-12 Table des mnémoniques

IV.4.2.8 Chargement de programmes dans la CPU

Après avoir effectué la configuration matérielle de la station S7 et l'achèvement du programme, ce dernier sera chargé dans la CPU et dans le système correspondant en sélectionnant les blocs appropriés ; chaque fonction FC doit être appelée dans le bloc d'organisation principal OB1 pour que le programme s'exécute correctement. Il est important de noter que si une fonction n'est pas appelée dans l'OB1, elle ne pourra pas s'exécuter pendant le fonctionnement du programme.

IV.4.2.9 Simulateur des programmes S7- PLCSIM

Après avoir élaboré et organisé le programme du système à automatiser, nous passons à l'étape suivante, qui consiste à vérifier son bon fonctionnement en le simulant.

L'application de simulation de modules S7-PLCSIM nous permet d'exécuter et de tester notre programme sur l'automate programmable industriel S7-300. Cette application dispose d'une interface simple qui permet de visualiser et de forcer les paramètres du programme en cours d'exécution

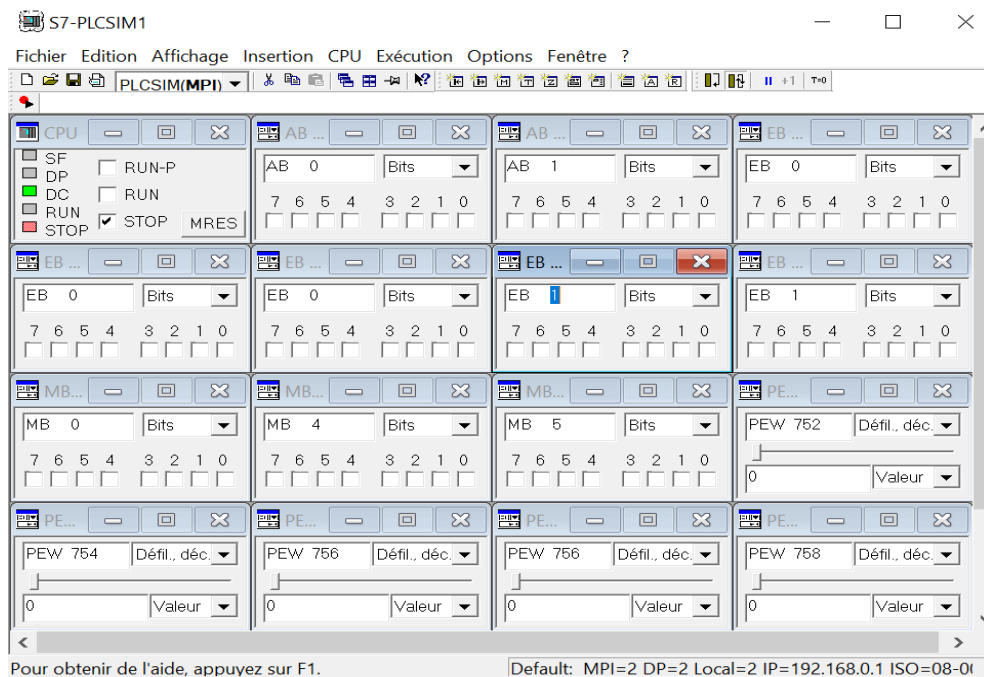


Figure IV-13 Simulateur des programmes PLCSIM

IV.5 Blocs utilisés dans le programme de l'installation du fondoir

Au moment de la programmation du fondoir, nous allons diviser le programme en plusieurs blocs fonctionnels et deux blocs d'organisation. Cette configuration est établie de la manière suivante :

IV.5.1 Bloc d'organisation : OB1

Le bloc OB 1 est essentiel dans la programmation de notre station, car il regroupe tous les blocs fonctionnels créés pour être traités de manière cyclique pendant leur fonctionnement. En d'autres termes, il est le cerveau de la programmation de notre système.

IV.5.1.1 Simulation du bloc d'organisation OB1

La fenêtre ci-dessous représente le bloc d'organisation OB1, ainsi les réseaux d'appel des blocs fonctionnels FC1, FC2, FC4 et FC6.

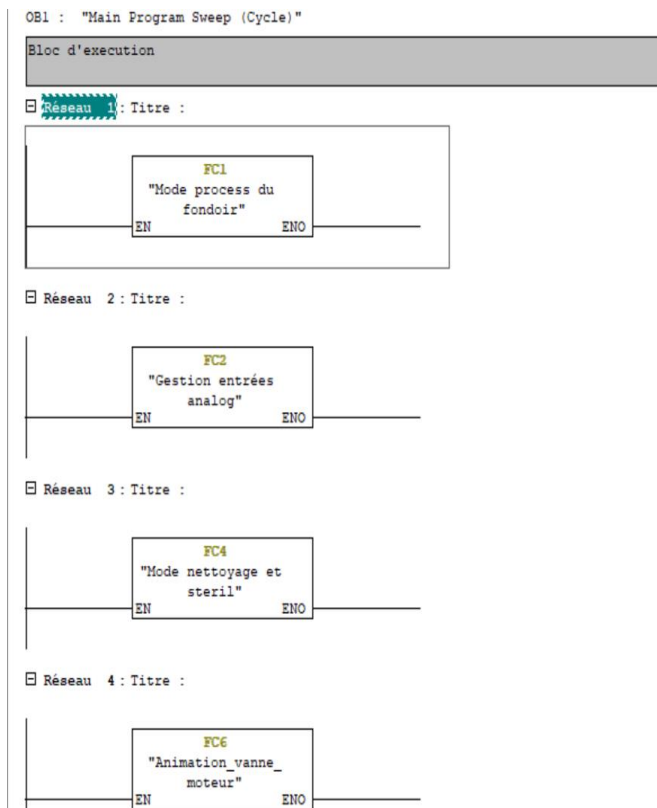


Figure IV- 14 Bloc d'organisation OB1

IV.5.2 Gestion des entrées analogiques : [FC2]

Ce bloc fonctionnel a pour but la mise à l'échelle des signaux analogiques des différents capteurs (4 – 20 mA) utilisées au niveau de la station en signaux numériques, passant par l'instruction SCALE qui traite les signaux électriques émis par les capteurs, permettant ainsi de mettre à l'échelle les valeurs à l'entrée en les reproduisant sur une plage de valeurs spécifiques. Les deux réseaux qui suivent, permettent d'effectuer la mise à l'échelle des signaux analogiques du capteur de niveau et du brixmètre placé sur le fondeur.

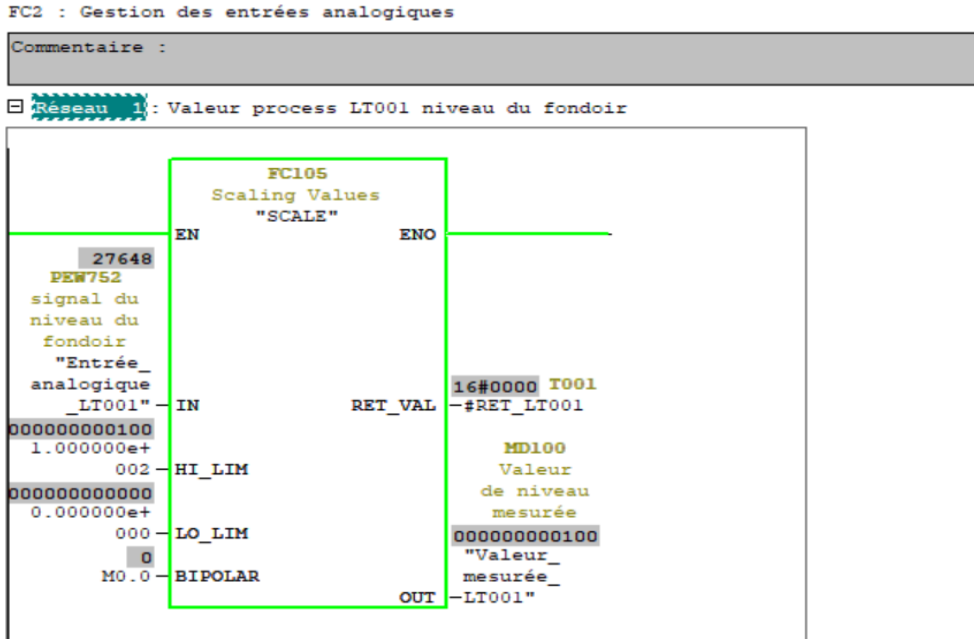


Figure IV-15 Valeur analogique de niveau du fondoir

☐ Réseau 2 : Valeur process BX001 brix au niveau du fondoir

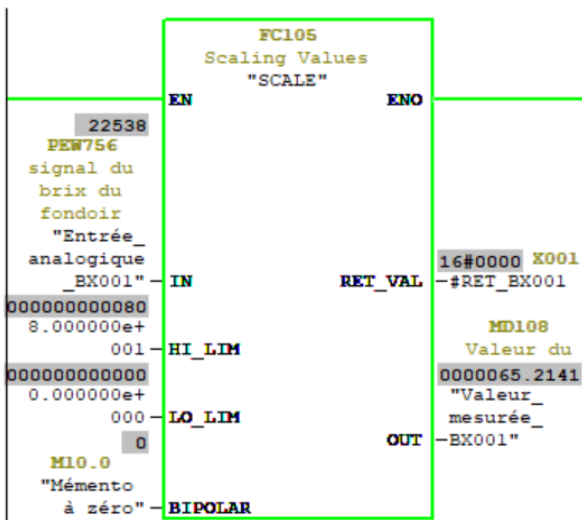


Figure IV-16 Valeur analogique de brix du fondoir

IV.5.3 Bloc mode marche/arrêt du mode process : [FC1]

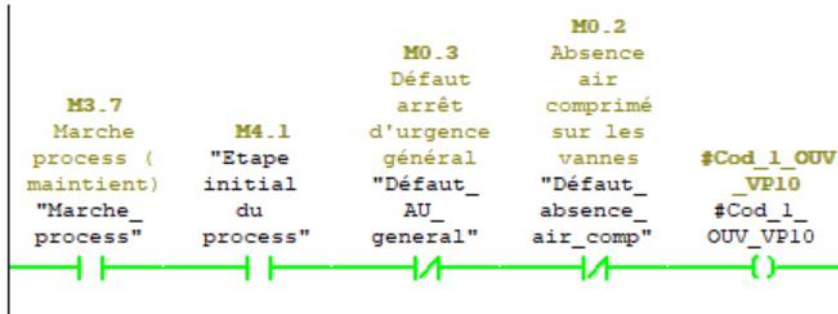
Ce bloc fonctionnel combine plusieurs réseaux en forme d'équations ladder couvrant l'ensemble des étapes du mode marche/arrêt du processus, permettant d'activer les différentes actions de chaque étape du grafcet marche/arrêt.

Les deux réseaux ci-dessous montrent les deux conditions d'ouverture de la vanne d'eau chaude VP10 du fondoir :

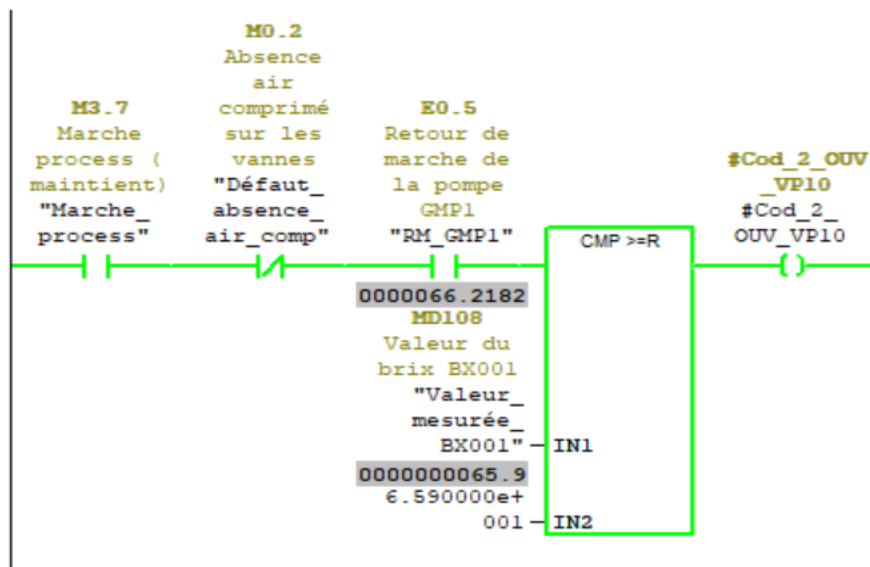
FC1 : Programme Mode process

Commentaire :

▣ Réseau 1 : Ouverture de VP10 vanne eau chaude du fondoir



▣ Réseau 5 : Condition 2 d'ouverture de VP10



▣ Réseau 6 : affectation sortie logique vanne eau chaude du fondoir VP10

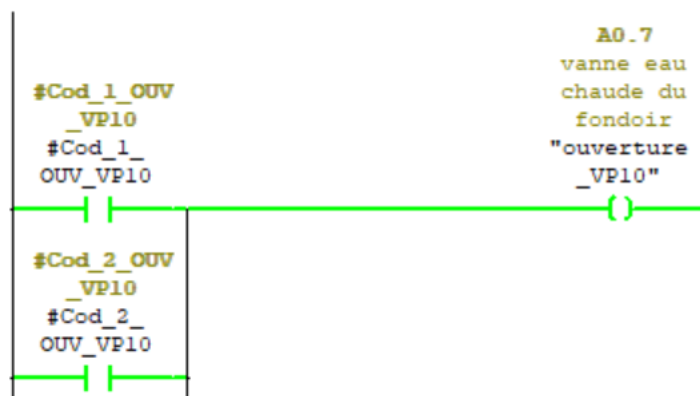


Figure IV-17 Conditions d'ouverture de la vanne d'eau chaude du fondoir VP10

Le réseau ci-dessous montre l'ordre de marche du convoyeur à vis M1 selon le niveau de la solution sucrée et la concentration du brix du fondoir

▣ Réseau 3 : Ordre de marche du convoyeur à vis

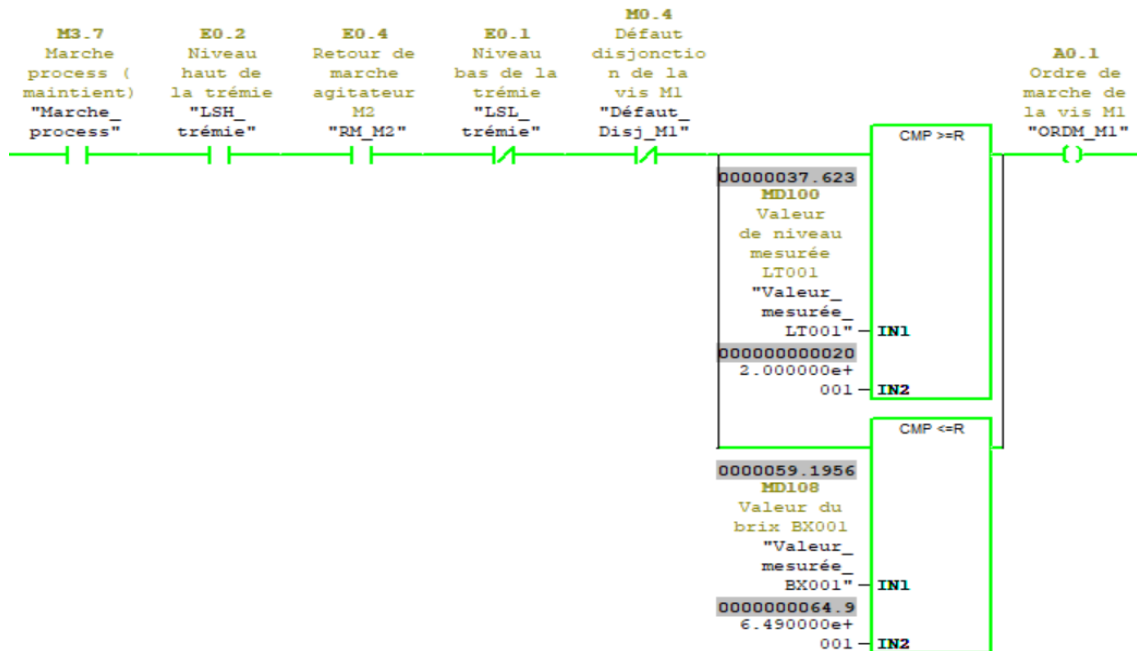


Figure IV-18 Ordre de marche du convoyeur à vis

IV.5.3.1 Simulation du réseau de fonctionnement du GMP1

La figure IV-19 montre l'activation de l'étape 4 du grafcet marche/arrêt process qui détermine les conditions du fonctionnement du groupe motopompe 1

▣ Réseau 4 : Fonctionnement du GMP1

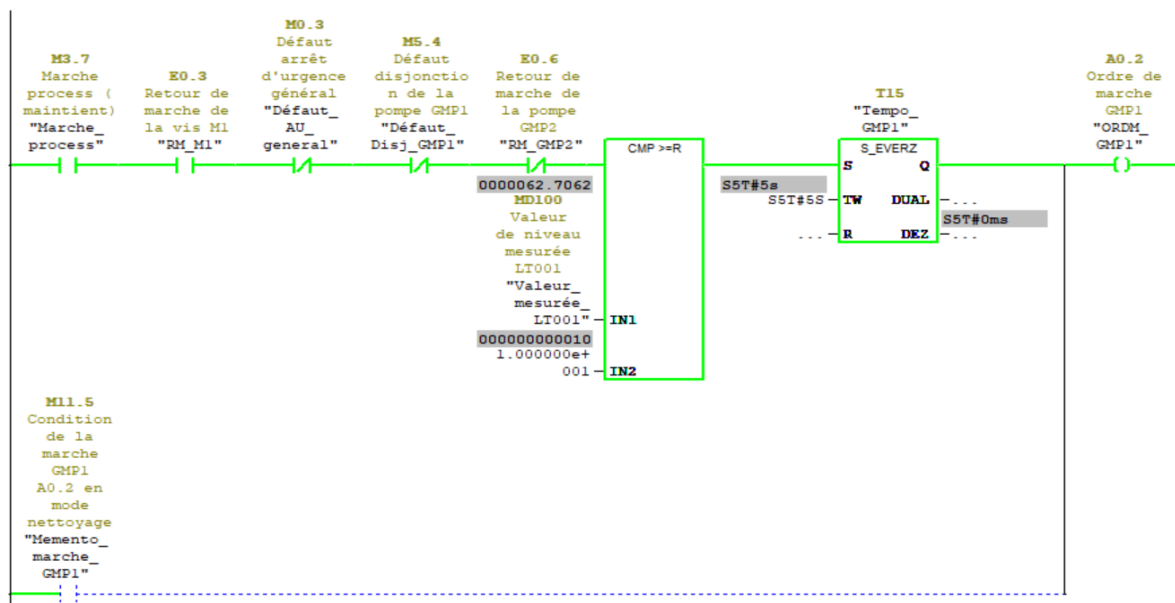


Figure IV-19 Ordre de marche du GMP1

Le réseau 10 de la figure suivante montre l'ouverture de la vanne VP6 de recirculation selon les variations de concentration du brix du bac de réception.

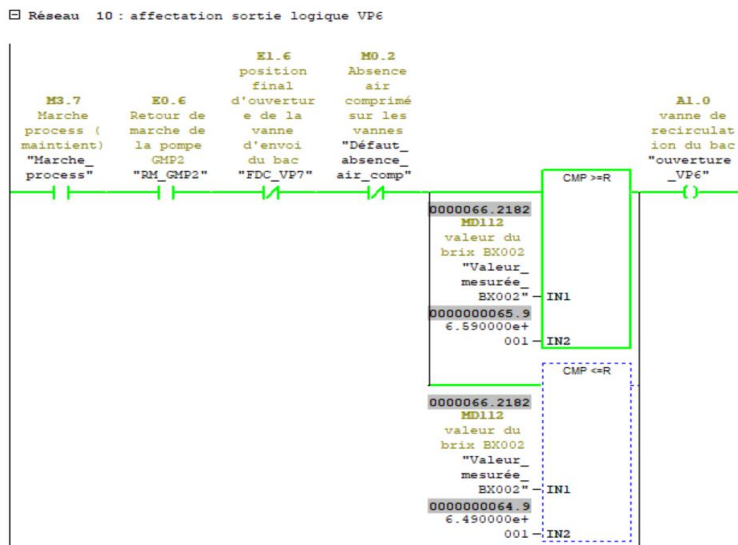


Figure IV-20 Ouverture de la vanne de recirculation du fondoir

IV.5.4 Bloc mode nettoyage et stérilisation : [FC4]

Ce bloc fonctionnel combine plusieurs réseaux en forme d'équations ladder couvrant l'ensemble des étapes du mode nettoyage et stérilisation du processus, permettant d'activer les différentes actions de chaque étape du grafset nettoyage et stérilisation.

Le réseau ci qui suit montre la condition d'ouverture de la vanne de vapeur du fondoir VP1 pour laisser entrer de la vapeur pendant 5 minutes, afin de stériliser les parties internes du processus.

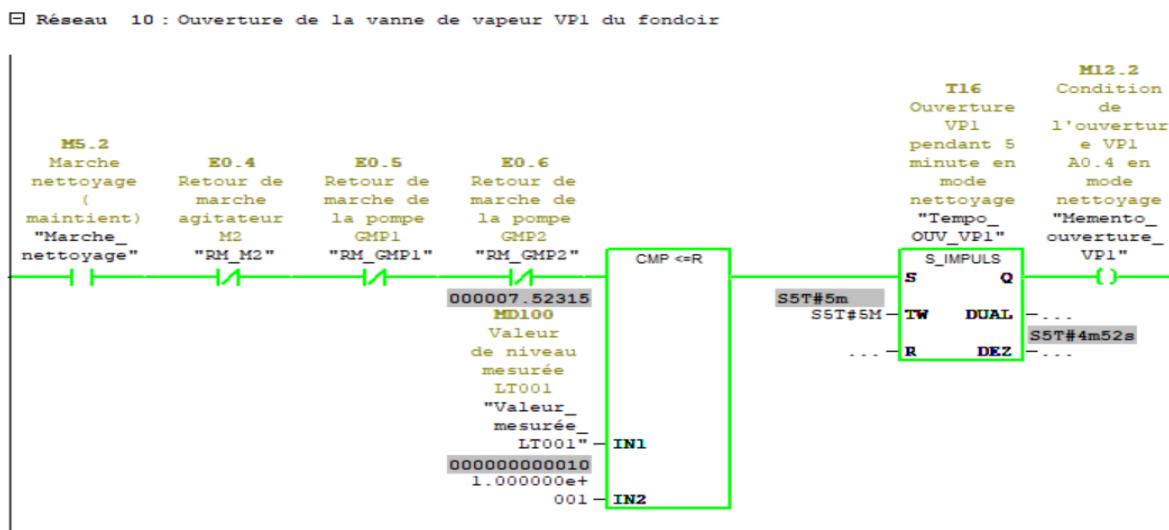


Figure IV-21 Condition d'ouverture de la vanne de vapeur du fondoir

Le réseau 8 et 9 des deux figures ci-dessous illustrent l'activation des vannes VP8 et VP9, afin de vider les cuves et l'ensemble des tuyauteries.

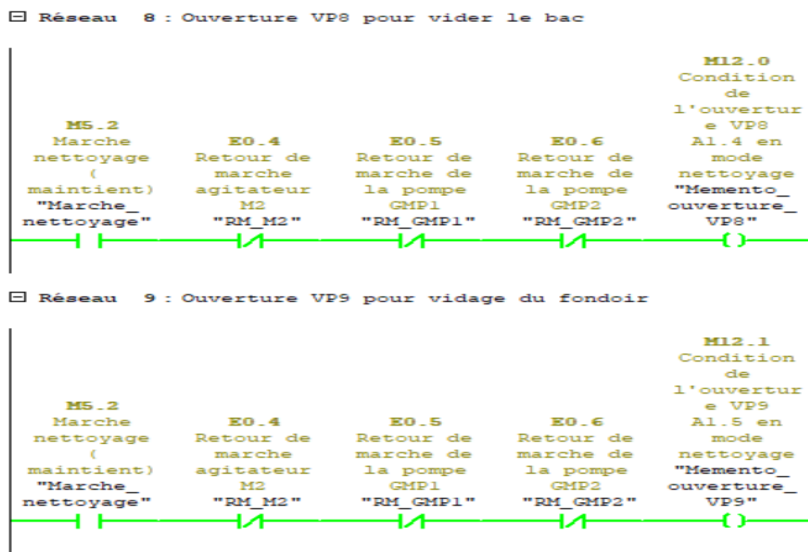


Figure IV-22 Activation des vannes de vidange VP8 et VP9

IV.5.5 Bloc d'animations de l'état des vannes et moteurs : FC6

Ce bloc fonctionnel prés-programmable à pour but de gérer la supervision d'état de fonctionnement des moteurs et des vannes (marche, arrêt, défaut).

IV.5.5.1 Simulation du bloc animations vannes et moteurs

Les réseaux de ce bloc permettent d'afficher l'état du moteur de l'agitateur, s'il est égal à 0 cela implique qu'il est en arrêt, s'il est à l'état 1 implique qui est en marche et si le moteur est à l'état 2 Cela veut dire que notre moteur est en défaut.

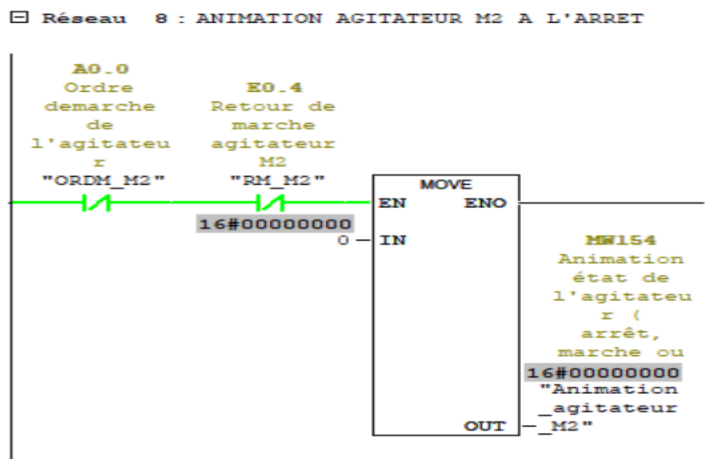


Figure IV-23 Animation agitateur M2 à l'arrêt

IV.6 Supervision

La supervision permet de suivre en temps réel l'évolution d'une installation. L'opérateur peut visualiser le déroulement du processus à l'aide d'une représentation adéquate des informations du procédé, ce qui lui permet de déterminer les besoins et de planifier les opérations de maintenance. La supervision permet d'avoir un affichage dynamique du processus, avec les différentes alarmes, détection de défauts et événements qui se produisent pendant l'exploitation de l'installation. Le processus est donc représenté sous forme d'images et d'objets animés qui reflètent l'état des éléments de commande et les valeurs transmises par les capteurs [16].

IV.6.1 Commande par supervision

Cela implique d'envoyer des instructions au processus pour le faire évoluer, ainsi que de recueillir des mesures ou des rapports afin de vérifier que les instructions envoyées produisent les effets souhaités avec précision.

IV.6.2 Interface homme- machine IHM

Un système (IHM), constitue l'interface entre l'homme (opérateur) et le processus, c'est une interface utilisateur qui permet de connecter une personne à une machine ou une installation et qui a pour but d'améliorer la communication entre eux, ainsi d'avoir un maximum de transparence sur un processus [35].

Les interfaces homme-machine (IHM) dans les environnements industriels offrent la possibilité de surveiller et/ou de contrôler les équipements auxquels elles sont connectées. Leurs principales fonctionnalités sont les suivantes :

- Ajustements et paramétrage : Cette tâche se caractérise par l'enregistrement des paramètres de l'installation afin de les transférer à l'automate.
- Commande du processus : est effectuée par l'opérateur via l'interface graphique, par exemple modifier des paramètres ou définir une consigne pour l'automate.
- Affichage des alarmes : En cas de situation critique dans le processus, une alarme se déclenche automatiquement. Par exemple, lorsqu'une valeur limite prédéfinie est atteinte ou dépassée.
- Archivage des données : Cela permet de documenter les caractéristiques du processus ou d'accéder ultérieurement à des données de production plus anciennes.

IV.7 Présentation du logiciel de supervision WinCC flexible [36]

Le logiciel WinCC (Windows Control Center) de SIEMENS est un outil d'ingénierie conçu pour configurer les pupitres SIMATIC, les PC industriels SIMATIC et les PC standard équipés du logiciel de visualisation WinCC Runtime. Ce logiciel permet de créer une interface homme-machine (IHM) graphique qui assure la visualisation et le diagnostic des procédés. Il facilite la saisie, l'affichage et l'archivage des données, simplifiant ainsi les tâches de conduite et de surveillance pour les opérateurs. WinCC offre une solution de supervision efficace en fournissant à l'utilisateur les fonctionnalités adaptées aux besoins d'une installation industrielle.

IV.7.1 Création de l'interface homme machine de l'atelier de refonte

Pour la supervision de l'atelier de refonte, on a réalisé une interface graphique à l'aide du WINCC flexible en procédant aux étapes suivantes :

- ✓ Création du projet et choix du panel
- ✓ Liaison avec l'automate
- ✓ Création de la table des variables IHM
- ✓ Création des vues
- ✓ Configuration des alarmes
- ✓ Compilation et simulation

IV.7.1.1 Création du projet

On lance SIMATIC WinCC flexible, une fenêtre assistant de projet s'affiche, choisissant ainsi créer un projet vide, une autre fenêtre apparaîtra pour le choix du pupitre.

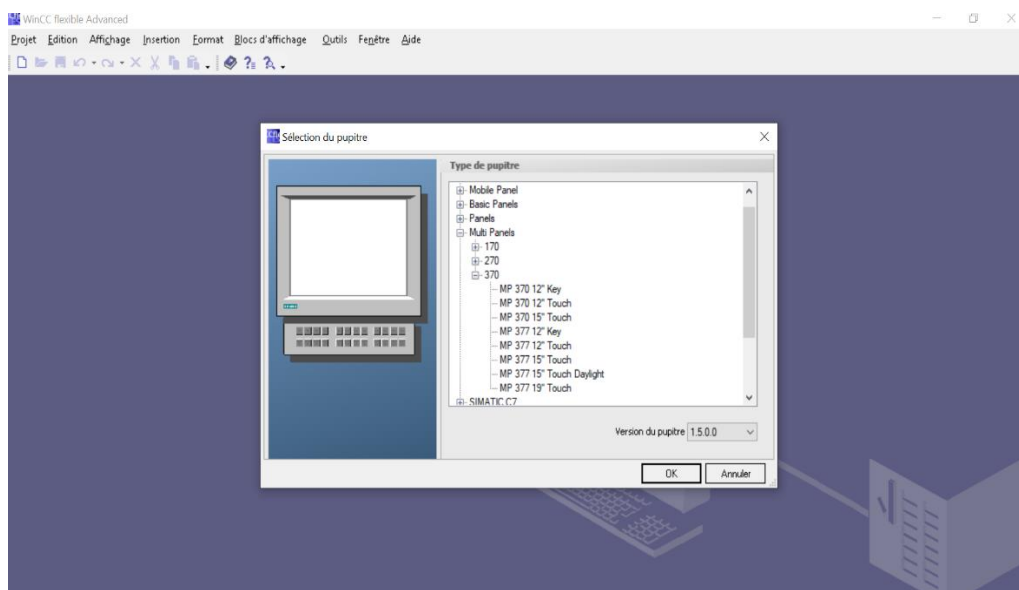


Figure IV- 24 Création du projet su WinCC flexible

IV.7.1.2 Liaison avec l'automate

Pour éditer la liaison entre WinCC flexible et l'automate, il faut ouvrir l'éditeur de liaison de WinCC, situé dans la fenêtre du projet et configurer la connexion dans le but que notre projet wincc puisse accéder aux données stockées dans l'automate. Cette liaison se fait via un câble MPI.

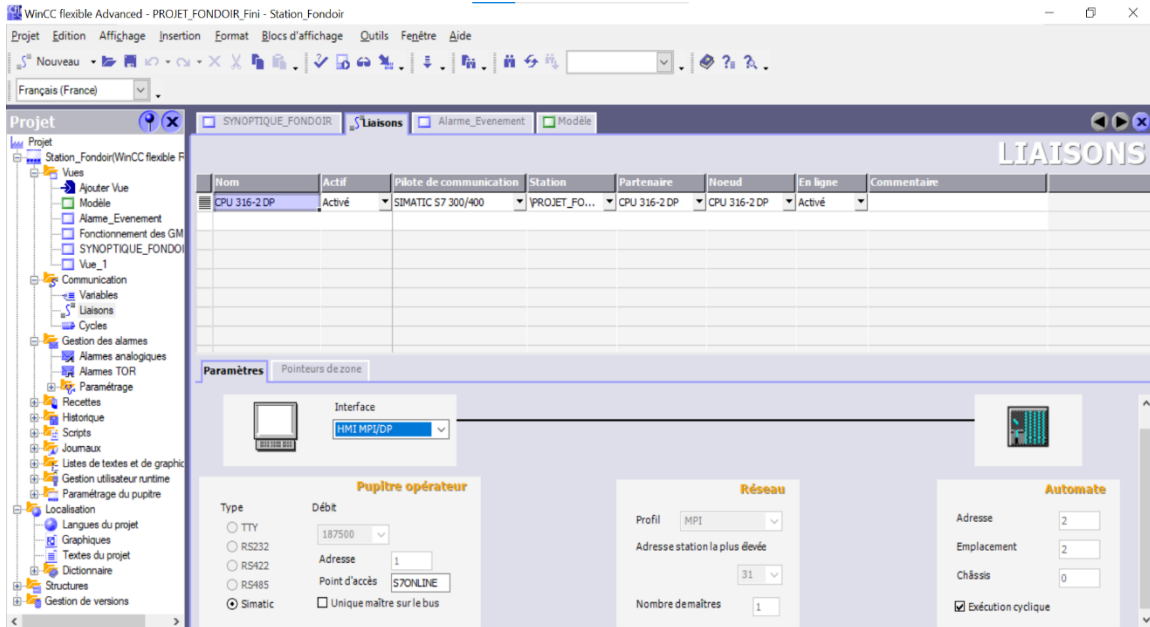


Figure IV-25 Liaison avec l'automate

IV.7.1.3 Création de la table des variables

Dès que la liaison est établie, le transfert d'informations entre le step7 et le projet WinCC s'effectue automatiquement. Les variables du projet WinCC accèdent directement aux données provenant du step7.

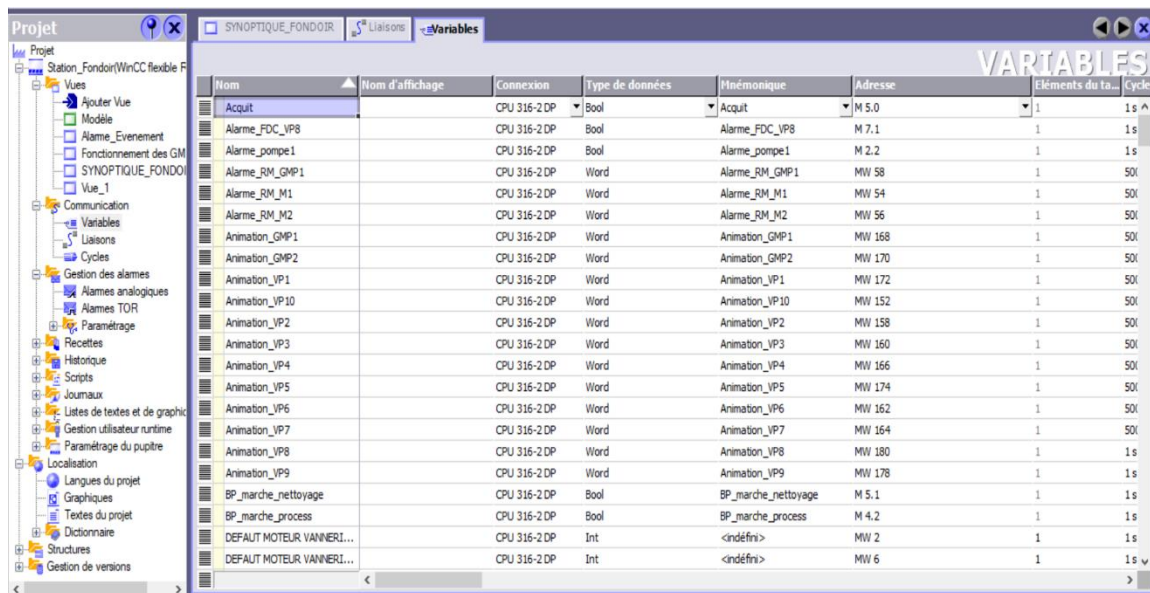


Figure IV-26 Table des variables

IV.7.1.4 Créations des vues

Le logiciel WinCC –flexible nous permet de créer des vues dans le but de commander et contrôler notre installation, on dispose pour cela des objets prédéfinis qu'on peut insérer pour la représentation du procès. La station comprend des vues, répartis comme suit dans les illustrations suivantes :

IV.7.1.4.1 Vue synoptique du fondoir

La figure qui suit représente la vue réelle du process qui permettra à l'opérateur la visualisation de l'évolution de l'installation, ainsi que l'état des différents éléments de la station.

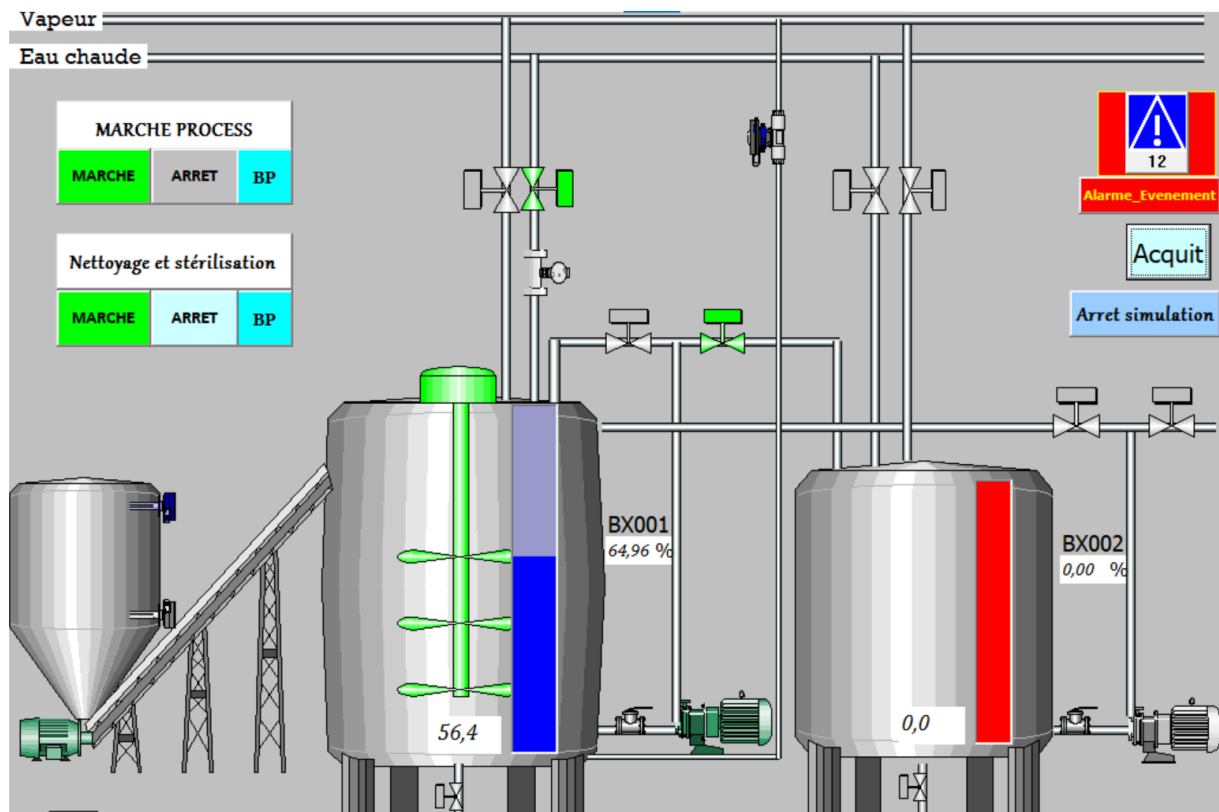


Figure IV-27 Vue de la synoptique du fondoir

IV.7.1.4.2 Vue d'alarmes

La fenêtre d'alarmes permet d'afficher par message les détails d'alarmes et d'avertissements des situations critiques qui peuvent survenir durant le fonctionnement de l'installation.

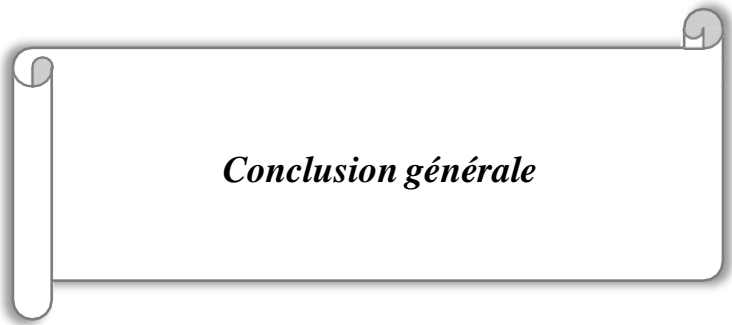
ALARMES / EVENEMENTS						
N°	Heure	Date	Etat	Texte	GR	
! 8	11:02:55	23/06/2024	A	Brix est inférieur à 65% au niveau du bac de réception	0	
! 2	11:02:55	23/06/2024	A	Niveau du fondoir est très bas	0	
! 3	11:02:55	23/06/2024	A	Niveau du bac de réception est très haut	0	
! 6	11:02:55	23/06/2024	A	Brix est inférieur à 65% au niveau du fondoir	0	
! 26	11:02:55	23/06/2024	A	Alarme absence retour de fin de course (discordance) de la VP9	0	
! 18	11:02:55	23/06/2024	A	Alarme absence retour de fin de course (discordance) de la VP2	0	
! 17	11:02:55	23/06/2024	A	Alarme absence retour de fin de course (discordance) de la VP1	0	
! 16	11:02:55	23/06/2024	A	Brix inférieur à 65% au niveau du fondoir	0	
! 14	11:02:55	23/06/2024	A	Brix inférieur à 65% au niveau de bac de réception	0	
! 4	11:02:55	23/06/2024	A	niveau du fondoir est très bas	0	
! 3	11:02:55	23/06/2024	A	niveau du fondoir est très haut	0	
! 2	11:02:55	23/06/2024	A	niveau du bac est très bas	0	
! 1	11:02:55	23/06/2024	A	niveau du bac est très haut	0	

Figure IV-28 Vue d'alarmes

Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons d'abord effectué une analyse fonctionnelle du système à l'aide de grafjets. Ensuite, nous avons fourni une description générale des automates programmables de la gamme S7-300, qui seront l'outil d'automatisation de la station du fondoir, ainsi que de leur logiciel de programmation STEP7. Par la suite, nous nous sommes concentrés sur la réalisation du programme, en simulant quelques-uns de ses réseaux qui serviront à commander les différents éléments de cette installation.

Enfin, nous avons donné un aperçu général de la supervision et des interfaces homme-machine qui permettent de connecter une personne à une installation, ainsi que la procédure à suivre pour la création de l'IHM sur le logiciel WinCC flexible. Nous avons ensuite présenté les vues que nous avons créées pour cette station, permettant de commander et de contrôler l'atelier de refonte du sucre liquide.



Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude rentre dans le cadre d'un stage pratique que nous avons effectué au sein de l'unité des sucres spéciaux du complexe agro-alimentaire de Cevital

L'objectif de ce travail, était l'installation du fondoir de dissolution du sucre cristallisé qui assure la production continue du sucre liquide. Cela nous a permis de mettre en pratique les concepts d'électrotechnique acquis pendant notre formation, en participant au dimensionnement électrique, à l'automatisation et à la supervision de la station de refonte.

Dans ce contexte, nous avons étudié le fonctionnement de la station du fondoir et identifié ces divers éléments. Par la suite, nous avons effectué un dimensionnement électrique basé sur des normes spécifiques à l'électrotechnique. Ces normes ont défini des plages à respecter pour le choix des équipements de puissance et de commande, ainsi que pour assurer la sécurité contre les risques électriques, évitant ainsi tout dysfonctionnement lors de la mise en service de la station.

Après cette étape de dimensionnement électrique, nous avons élaboré une analyse fonctionnelle du système décrivant ces modes de fonctionnement en se basant sur un cahier de charge précis, ce qui nous a permis de bénéficier d'un avantage pour la programmation sur le logiciel step7 afin de pouvoir automatiser la station ainsi de superviser le programme avec le WinCC flexible en réalisant une IHM représenté sur un écran tactile dans le but de suivre l'état de l'évolution réel du processus.

La période du stage pratique était bénéfique, elle nous a permis d'approfondir et d'acquérir des connaissances dans notre domaine d'études. Nous avons également eu l'opportunité de découvrir le monde professionnel et de vivre une expérience enrichissante qui a contribué à notre formation. Cette expérience nous a également offert une vision instructive du monde industriel.

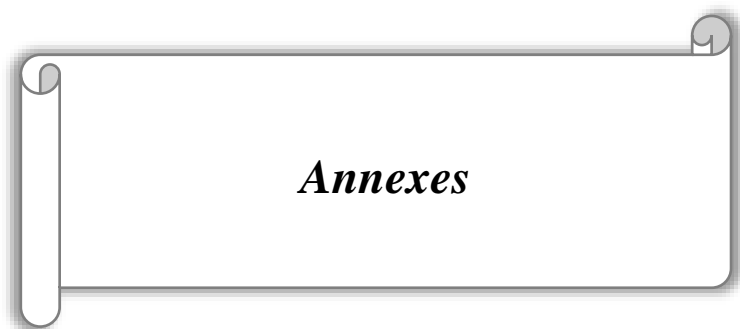
À l'issue de cette tâche achevée, espérant que cette approche sera envisageable et qu'elle apportera une valeur ajoutée à l'entreprise.



Références bibliographiques

- [1] : « Cevital Agro-Industrie », Cevital.: <https://www.cevital.com/cevital-agro-industrie/>
- [2] : « Manuel opératoire sucre liquide complexe CEVITAL ».
- [3] : « Usinage de vannes, Vannes, usiner, recharger et rectifier les sièges de vanne », Serco. Consulté le 06/05/2024, Serco. Disponible sur: <https://www.serco-tools.fr/produits-et-applications/maintenance-et-reparation/vannes>
- [4] : « Sectoriel - Robinetterie industrielle et vannes motorisées ». Consulté le 20/06/2024. Disponible sur: <https://www.sectoriel.com/fr/>
- [5] : « les capteurs ». [En ligne]. Consulté le 10/05/2024. Disponible sur: <http://produ.chez.com/cap/index.htm>
- [6] : « Capteur de pression - DOERLER Mesures ». Consulté le 10/05/2024. Disponible sur : <https://www.dmesures.fr/fr/produits/pression-fr.html>
- [7] : « Le principe de mesure de niveau vibronique ». Consulté le 20/06/2024. Disponible sur: <https://www.fr.endress.com/fr/instrumentation-terrain-sur-mesure/filtres-categories-appareils-terrain>
- [8] : « Capteur de température Pt100, Sonde de température Pt100 - Tous les fabricants industriels ». Consulté le 30/03/2024. Disponible sur : <https://www.directindustry.fr/fabricant-industriel/capteur-temperature-pt100-104776.html>
- [9] : « Débitmètre Coriolis, Débitmètres massiques, Mesures de niveaux et de masses | Endress+Hauser ». Consulté le 30/03/2024. Disponible sur : <https://www.fr.endress.com/fr/instrumentation-terrain-sur-mesure/debit-mesure-produits/debitmetres-massiques-coriolis>
- [10] : M.-T. I. I. all rights reserved, « Réfractomètres / brixmètres ». Consulté le 31/03.2024 Disponible sur: https://www.mt.com/ca/fr/home/products/Laboratory_Analytics_Browse/refractometer.html
- [11] : Dr A. Laifaoui, « Support de cours Schémas et Appareillages Électriques » Université de Béjaïa ».
- [12] : « relais contrôle de phases | Schneider Electric ». Consulté le 17/06/2024. Disponible sur: <https://www.se.com/fr/fr/product/RM22TG20/harmony-control-relais>
- [13] : « moteurs électriques ». Disponible sur : <https://www.pompe-moteur.fr/blog/moteur-asynchrone-triphas->
- [14] : I. Toledano, « CHOISIR ENTRE UN DÉMARREUR PROGRESSIF ET UN VFD », Wattco. Consulté le 06/04/2024. Disponible sur : <https://www.wattco.com/fr/2020/12/demarreur-progressif-vfd/>
- [15] : « Etude et réalisation d'une armoire électrique d'un bloc Mixeur en vue de sa commande », Université Mouloud Mammeri, 2017. Disponible sur : <https://dspace.ummo.dz/>
- [16] : T. Essaid et D. Hakim, « Etude et dimensionnement d'une armoire électrique en vue de l'automatisation d'une station de traitement des eaux », Université Mouloud Mammeri, 2017. Disponible sur : <https://dspace.ummo.dz/handle/ummo/8709>
- [17] : « GUIDE PRATIQUE Détermination des sections de conducteurs et choix des dispositifs de protection », Installation électrique basse tension. Disponible sur : http://court.fr/pdf/NFC-15-105_UNION_TECHNIQUE_DE_L'ELECTRICITE_ET_DE_LA_COMMUNICATION.pdf. Édition juillet 2003.
- [18] : « guide-de-conception-des-reseaux-electrique-industriels ». Schneider Electric, Christophe Preve- Robert Jeannot, cahier technique N° 6883427/A, édition février 1997.

- [19] : S. Electric, « Guide de l'Installation Electrique 2017 », 2017. Normes internationales CEI et nationales françaises NF
- [20] : « Schneider Electric, B. De Metz-Noblat, F. Dumas et C. Poulain, collection technique « Calcul des courants de court-circuit », cahier technique N° 158, édition septembre 2005.
- [21] : J. Nereau, « Sélectivité avec les disjoncteurs de puissance basse tension ». Cahier technique N°201, édition mars 2001
- [22] : CHAUVIN Arnoux, « guide de la mesure d'isolement », N°906210195, édition février 2010
- [23] : « la protection du moteur électrique ». Disponible sur:
<https://www.motac.fr/blog/2017/09/01/proteger-un-moteur-electrique>
- [24] : Norme française la commission électrotechnique internationale NF C 15-100, « Installations électriques à basse tension », édition décembre 2002
- [25] : « Armoire électrique: Guide Complet - Choix, Installation et Maintenance », EliteElecDeals. Disponible sur: <https://eliteelecdeals.com/blogs/les-articles-eliteelecdeals/armoire-electrique-armoire-elec-installation>, novembre 2023.
- [26] : « Schneider Electric, laboratoire de câblage, « Étude technologique et pratique du câblage des circuits électriques industriels » centre de formation kazakhstano Français aux métiers de l'énergie, de l'électricité et de la maintenance des systèmes automatisés. »
- [27] : R. Fandis, « refroidir une armoires », Fandis Blog. Disponible sur:
<https://blog.fandis.com/fr/armoires-electriques/comment-refroidir-une-armoire-5-differents-systemes-de-gestion-thermique/>
- [28] : « Fiche Caneco_BT ». ALPI, juillet 2013
- [29] : « Installations Électriques Basse Tension Manuel de référence Caneco-BT ». ALPI, juin 2014
- [30] : H. Abdelghafour, « Automatismes industriels GRAFCET ».
- [31] : « support_cours automatisme ». AIDOUD Mohammed, SEBBAGH Abdennour, photocopié de Cours, université 8 mai 1945 – Guelma, année 2019-2020.
- [32] : « SIMATIC Système d'automatisation S7-300 Installation et configuration ». Disponible sur:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/415/15390415/att_41927/v1/S7-300_IHB. Edition 06/2003
- [33] : « Cours UEF_M1I_Technologie en Automatismes Industriels_A. LAIFA OUI_2020.pdf ».
- [34] : « Manuel de programmation avec STEP 7 », Siemens SIMATIC, mai 2010
- [35] : « Interface Homme-Machine ou IHM | Pro-face France ». Disponible sur:
<https://www.proface.com/fr/node/49508>
- [36] : « Documentation technique (logiciel de supervision WINCC-Flexible 2008). »



Annexes

Informations sur l'ensemble des conducteurs

Afin de pouvoir effectuer un dimensionnement il est nécessaire de collecter les informations sur l'ensemble des conducteurs de chaque récepteur utilisé.

C1 : Câble triphasé multiconducteurs, cuivre, isolant PR, longueur 50 m posé sur chemin de câble horizontal perforé, température ambiante est de 50°C. Ce câble est destiné pour alimenter le groupe motopompe 1 doté d'une puissance de 5.5KW.

C2 : Câble triphasé multiconducteurs, cuivre, isolant PR, longueur 50 m posé sur chemin de câble horizontal perforé, température ambiante est de 50°C. Ce câble est destiné pour alimenter le groupe motopompe 2 doté d'une puissance 11KW.

C3 : Câble triphasé multiconducteurs, cuivre, isolant PR, longueur 50 m posé sur chemin de câble horizontal perforé, température ambiante est de 50°C. Ce câble est destiné pour alimenter le moteur du convoyeur à vis M1 doté d'une puissance de 5.5KW.

C4 : Câble triphasé multiconducteurs, cuivre, isolant PR, longueur 50 m posé sur chemin de câble horizontal perforé, température ambiante est de 50°C. Ce câble est destiné pour alimenter le moteur de l'agitateur M2 doté d'une puissance de 5.5KW.

C5 : Câble triphasé multiconducteurs, cuivre, isolant PR, longueur 50 m posé sur chemin de câble horizontal perforé, température ambiante est de 50°C. Ce câble est destiné pour alimenter la nouvelle pompe d'envoi doté d'une puissance de 22KW.

C6 : Câble triphasé multiconducteurs, cuivre, isolant PR, longueur 50 m posé sur chemin de câble horizontal perforé, température ambiante est de 50°C. Ce câble est destiné pour alimenter le compresseur doté d'une puissance de 37KW.

C7 : Câble triphasé multiconducteurs, cuivre, isolant PR, longueur 50 m posé sur chemin de câble horizontal perforé, température ambiante est de 50°C. Ce câble est destiné pour alimenter le moteur du palan électrique doté d'une puissance de 2.2KW.

C8 : Câble monophasé, cuivre, isolant PR, longueur de 2 m posé dans l'armoire, température ambiante est de 50°C. Ce câble est destiné pour alimenter une prise de courant de 16A.

C9 : Câble tétrapolaire, cuivre, isolant PR, longueur 70 m posé sur un chemin de câble horizontal perforé, température ambiante est de 50°C. Ce câble est destiné pour alimenter l'armoire du procédé.

Lettre de sélection	Isolant et nombre de conducteurs chargés (3ou 2)									
	Caoutchouc ou PVC				Butyle ou PR ou éthylène PR					
	B	PVC3	PVC2		PR3		PR2			
	C		PVC3		PVC2	PR3		PR2		
E			PVC3		PVC2	PR3			PR2	
F				PVC3		PVC2				PR2
Section cuivre [mm ²]	1.5	15.5	17.5	18.5	19.5	22	23	24	26	
	2.5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
400					656	754	825		940	
500					749	868	946		1083	
630					855	1005	1088		1254	
Section aluminium mm ²	2.5	16.5	18.5	19.5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	59	62	67	
	16	53	59	61	66	73	79	84	91	
	25	70	73	78	83	90	98	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	122	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	149	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	192	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	235	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	273	280	300	337
	150		227	245	261	283	316	324	346	389
	185		259	280	298	323	363	371	397	447
	240		305	330	352	382	430	439	470	530
	300		351	381	406	440	497	508	543	613
	400					526	600	663		740
500					610	694	770		856	
630					711	808	899		996	

Tableau N°1 : détermination des sections des conducteurs actifs

Exemple de calcul analytique des sections du câble d'alimentation du GMP1:

Depuis la plaque signalétique nous avons : $P_u = 5.5\text{KW}$

1) Calcul du courant d'emploi I_B :

$$I_B = P_u * a * K_c * (K_s * K_u * K_e)$$

On détermine en premier temps les facteurs de l'équation de ce courant :

- D'après le tableau III.2 : $K_s = 1$
- D'après le tableau III.3 : $K_u = 0.75$
- D'après le tableau III.4 : $K_c = 1.44$

Calcul du facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement :

$$a = \frac{1}{\gamma \cdot \cos(\varphi)} = \frac{1}{0.87 * 0.8} = 1.436$$

D'où :

$$I_B = 5.5 * 1.436 * 1.44 * (1 * 0.75 * 1.44) = 10.23 \text{ A}$$

Donc :

Le courant assigné nominal $I_n = 16\text{A}$

Le courant admissible I_z :

La protection utilisé est un disjoncteur moteur alors selon cette relation on aura :

$$I_z = I_n = 16\text{A}$$

2) Calcul du courant admissible équivalent Iz' :

Ce calcul sera donné par la formule suivante :

$$Iz' = Iz / K$$

On doit donc déterminer le facteur d'utilisation globale K, on tenant compte du :

- ✓ Facteur de correction K1 : qui est lié au mode dépose et lettre de sélection. Selon le tableau III.7 on aura : $K1 = 1$; donc E est la lettre de sélection ;
- ✓ Facteur de correction K2 : ce facteur tient compte de l'influence mutuelle. Selon le tableau III.8 on aura : $K2 = 0.73$;
- ✓ Facteur de correction K3 : ce facteur est lie à la température ambiante de l'environnement. Selon le tableau III.9 on obtiendra : $K3 = 0.82$;

Pour obtenir

$$K = K1 * K2 * K3 = 1 * 0.73 * 0.83 = 0.5986$$

Nous aurons ainsi le courant admissible équivalent :

$$Iz' = Iz / K = 16 / 0.5986 = 26.72A$$

3) Détermination des sections du câble de la nouvelle pompe d'envoi :

Selon le tableau N°1 et le tableau III-10 les sections du câble du récepteur sont comme suit :

$$S_{ph} = 2.5 \text{ mm}^2$$

$$S_N = 2.5 \text{ mm}^2$$

$$S_{PE} = 2.5 \text{ mm}^2$$

Le courant d'emploi total de l'armoire :

$$I_{B\text{principal}} = \sum I_{Bj} * Ks * Ke$$

$$= (14.33 + 7.165 + 7.424 * 2 + 2.969 + 28.66 + 52.109 + 16.31) * 1 * 1.2 = 163.56A$$

D'après le résultat obtenu, nous allons choisir un disjoncteur de caractéristique suivante :

Le calibre de disjoncteur sera de : $In = 200A$

4) Section du câble du disjoncteur principale de l'armoire :

Le courant admissible principal :

Depuis les résultats du tableau N°2, on aura :

$$Iz' \text{ principal} = \sum I'zj * Ks * Ke = 310.72 * 1 * 1.2 = 372.86 \text{ A}$$

la section de ce câble est de :

$$S_{\text{phase}} = 120 \text{ mm}^2$$

Exemple de Calcul numérique des chutes de tension pour le câble du GMPI:

Calcul de la résistance du conducteur :

$$R = \rho * \frac{L}{S} = 22.5 * \frac{50 * 10^{-3}}{2.5} = 0.45 \Omega$$

Calcul de la réactance du conducteur :

$$X = \lambda L = 8. 10^{-3} * 50. 10^{-3} = 4. 10^{-4} \Omega$$

Calcul de la chute de tension :

$$\Delta U = \sqrt{3} I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = \sqrt{3} * 10.23 * (0.45 * 0.8 + 4.10^{-4} * 0.6) = 6.38 \text{ V}$$

Chute de tension normalisée :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{6.38}{380} * 100 = 1.67 \%$$

On remarque que la chute de tension est inférieure à 5% donc notre section est validée

Annexe A

	GMP1	GMP2	Agitateur	Moteur du convoyeur	Palan électrique	Nouvelle Pompe d'envoi	compresseur	Prise de courant
P _n [KW]	6.32	12.64	6.54	6.54	2.62	25.28	45.97	3
P _u [KW]	5.5	11	5.5	5.5	2.2	22	40	3
Cos (φ)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ρ [%]	87	87	84	84	84	87	87	1
I _{abs} [A]	12	22	12	12	4	41.78	75.96	16
α	1.436	1.436	1.488	1.488	1.488	1.436	1.436	1.25
K _u	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1
K _s	1	1	1	1	1	1	1	1
K _e	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1
K _c	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	4.35
I _B [A]	10.23	20.47	10.6	10.6	4.24	40.9	68.85	16.31
I _n [A]	16	25	16	16	10	50	70	16
I _r [A]	11	21	11	11	3	41	69	16
Types de protection	disjoncteur	disjoncteur	disjoncteur	disjoncteur	disjoncteur	disjoncteur	disjoncteur	disjoncteur
I _Z [A]	16	25	16	16	10	50	70	16
Lettre de sélection	E	E	E	E	E	E	E	E
K ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
K ₂	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.88
K ₃	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
K	0.5986	0.5986	0.5986	0.5986	0.5986	0.5986	0.5986	0.721
I _{Z'} [A]	26.72	41.76	26.73	26.73	16.71	70.82	116.93	22.19
S _{ph.} [mm ²]	2.5	4	2.5	2.5	1.5	10	25	2.5
S _{PE} [mm ²]	2.5	4	2.5	2.5	1.5	10	25	2.5

Tableau N°2 : calcul de sections des conducteurs pour chaque récepteur

	GMP1	GMP2	Agitateur	Moteur de convoyeur	Palan Electrique	Pompe d'envoi	Compresseur	Prise de courant
$I_B[A]$	10.23	20.47	10.6	10.6	4.24	40.9	68.85	16.31
$\cos(\varphi)$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
$\sin(\varphi)$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
$L[m]$	50	50	50	50	50	50	50	2
$R[\Omega]$	0.45	0.281	0.45	0.45	0.75	0.1125	0.045	0.018
$X[\Omega]$	4.10^{-4}	4.10^{-4}	4.10^{-4}	4.10^{-4}	4.10^{-4}	4.10^{-4}	4.10^{-4}	$1,6.10^{-5}$
$\Delta U[V]$	6.38	7.97	6.613	6.613	4.41	6.39	4.32	0.41
$\Delta U\%$	1.67	2.09	1.74	1.74	1.16	1.68	1.13	0.10

Tableau N° 03 : chute de tension des conducteurs

L'application de la formule de calcul du court-circuit maximal nécessite de connaître les résistances et les réactances en tout point de l'installation, en utilisant la méthode des impédances on peut déterminer les différentes résistances et réactances de l'installation, le tableau suivant illustre les formules utilisées par cette méthode

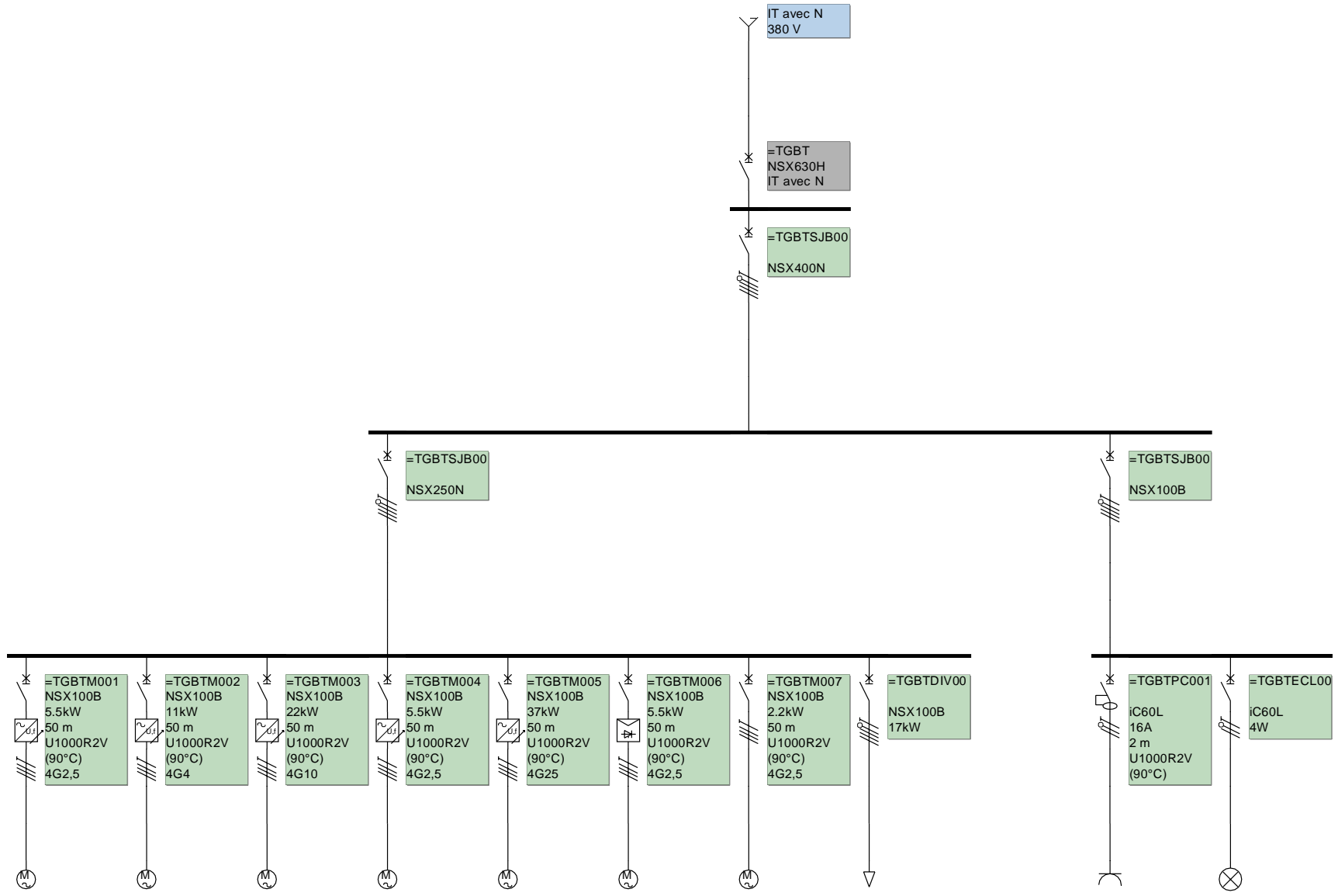
Partie de l'installation	Résistance (mΩ)	Réactance (mΩ)	Impédance
Réseau amont	$R_1 = 0.1 * Z_a$	$X_1 = 0.995 * Z_a$	$Z_a = \frac{(m U)^2}{S_{cc}}$
Liaison			
Câbles	$R_{câbles} = \rho * L / S$	$X_{câbles} = 0.09 * L$ (Câbles uni jointifs). $X_{câbles} = 0.13 * L$ (Câbles uni espacés)	$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2}$
Jeu de barres	$R_{jDB} = \rho * L / S$	$X_{jDB} = 0.15 * L$	$Z = \sqrt{R_{jDB}^2 + X_{jDB}^2}$
NOTE : La valeur de la résistance R et de la réactance X des disjoncteurs sont négligeables			

Tableau N° 4 : Détermination des résistances et des réactances d'une installation.

Partie de l'Installation		Caractéristiques	R[mΩ]	X[mΩ]	Z[mΩ]	I _{cc} [KA]
Réseau amont		500MVA	0.03184	0.3168	0.3184	0.3184
Disjoncteur de protection du câble vers armoire		Disjoncteur générale	0	0	0	0
Câble d'alimentation armoire		L=70 m S=120 mm ²	13.1	6.3	14.53	16.639
Disjoncteur principale de l'armoire		Disjoncteur Compacte	0	0	0	0
Les disjoncteurs		Disjoncteur de protection	0	0	0	0
Sortie du Disjoncteur	GMP1	L=50m S=2.5mm ²	450	4.5	450	0.537
	GMP2	L=50m S=4mm ²	281.25	4.5	281.28	0.860
	Agitateur	L=50m S=2.5mm ²	450	4.5	450	0.537
	Moteur de convoyeur	L=50m S=2.5mm ²	450	4.5	450	0.537
	Palan électrique	L=50m S=1.5mm ²	750	4.5	750	0.322
	Pompe d'envoi	L=50m S=10mm ²	112.5	4.5	112.5	2.148
	Compresseur	L=50m S=25mm ²	45	4.5	45.22	5.348
	Prise de courant	L =2 m S = 2.5 mm ²	18	1.62	18	3.102

Tableau N°5 : Différents courts-circuits de l'installation du fondoir

Dossier d'étude Caneco_BT



Installation du fondoir

Unifilaire général A4 Normal

A1

Ind.

MODIFICATIONS

Date : 21/05/2024

Norme : C1510015

Avis Technique 15L-601



AFFAIRE: 1

PLAN:

Folio

2 / 21

Repère	Désignation	Somme IB	Coef. Foison.	Cos.Phi.	KxS. IB	I Autorise	I Disponible	Disponible
SOURCE								
TGBT	Salle électrique sucre liquide	182,7 A	1,00	0,80	182,1 A	631 A	448 A	71,12 %

Installation du fondoir

Bilan de puissance

A1

Ind.

MODIFICATIONS

Date : 21/05/2024

Norme : C1510015

Avis Technique 15L-601



AFFAIRE: 1

PLAN:

Folio

3
21

Appareil	Fichier	Désignation	Calibre	Poles Déclencheur	Courbe	Differentiel	Qte
Disjoncteur	mg18fr1.dmi	iC60L	10,0 A	2P2D	Disjonct. C		1
Disjoncteur	mg18fr1.dmi	iC60L Type AC	16,0 A	2P2D	Disjonct. C	Dif.30mA	1
Disjoncteur	mg18fr1.dmt	NSX100B Micrologic 2.2M	25,0 A	3P3D	Disjonct. Mot		5
Disjoncteur	mg18fr1.dmt	NSX100B Micrologic 2.2M	50,0 A	3P3D	Disjonct. Mot		1
Disjoncteur	mg18fr1.dmt	NSX100B Micrologic 2.2M	100,0 A	3P3D	Disjonct. Mot		1
Disjoncteur	mg18fr1.dug	NSX100B TM32D	32,0 A	4P4D	Disj. Boitier moulé		1
Disjoncteur	mg18fr1.dug	NSX100B TM40D	40,0 A	4P4D	Disj. Boitier moulé		1
Disjoncteur	mg18fr1.dug	NSX250N Micrologic 2.2	250,0 A	4P4D	Disj. Boitier moulé		1
Disjoncteur	mg18fr1.dug	NSX400N Micrologic 2.3	400,0 A	4P4D	Disj. Boitier moulé		1
Disjoncteur	mg18fr1.dug	NSX630H Micrologic 2.3 (org. de tête)	630,0 A	4P4D	Disj. Boitier moulé		1

Installation du fondoir

Nomenclature des protections

A1

Ind.

MODIFICATIONS

Date : 21/05/2024

Norme : C1510015

Avis Technique 15L-601



AFFAIRE: 1

PLAN:

Folio

4
21

Repère	Contenu	Récepteur	Type Protection	Cont. Ind.	Nb récepteurs	Consommation	Lieu géo.	Longueur	D. origine
TGBTSJB001	3P+N+PE	Jeu Barres	Disj. Boitier moulé	Prot Base	1	400A			
TGBTSJB002	3P+N+PE	Jeu Barres	Disj. Boitier moulé	Prot Base	1	200A			
TGBTM001	3P+PE	Moteur	Disjonct. Mot	Prot Base	1	5.5kW		50 m	
TGBTM002	3P+PE	Moteur	Disjonct. Mot	Prot Base	1	11kW		50 m	
TGBTM003	3P+PE	Moteur	Disjonct. Mot	Prot Base	1	22kW		50 m	
TGBTM004	3P+PE	Moteur	Disjonct. Mot	Prot Base	1	5.5kW		50 m	
TGBTM005	3P+PE	Moteur	Disjonct. Mot	Prot Base	1	37kW		50 m	
TGBTM006	3P+PE	Moteur	Disjonct. Mot	Prot Base	1	5.5kW		50 m	
TGBTM007	3P+PE	Moteur	Disjonct. Mot	Prot Base	1	2.2kW		50 m	
TGBTDIV001	3P+N+PE	Divers	Disj. Boitier moulé	Prot Base	1	17kW		0 m	
TGBTSJB003	3P+N+PE	Jeu Barres	Disj. Boitier moulé	Prot Base	1	32A			
TGBTPC001	P+N+PE	PC	Disjonct. C	Dif.30mA	1	16A		2 m	
TGBTECL001	P+N+PE	Eclairage	Disjonct. C	Prot Base	1	4W		0 m	

Installation du fondoir

Caractéristiques des circuits

A1

Ind.

MODIFICATIONS

Date : 21/05/2024

Norme : C1510015

Avis Technique 15L-601

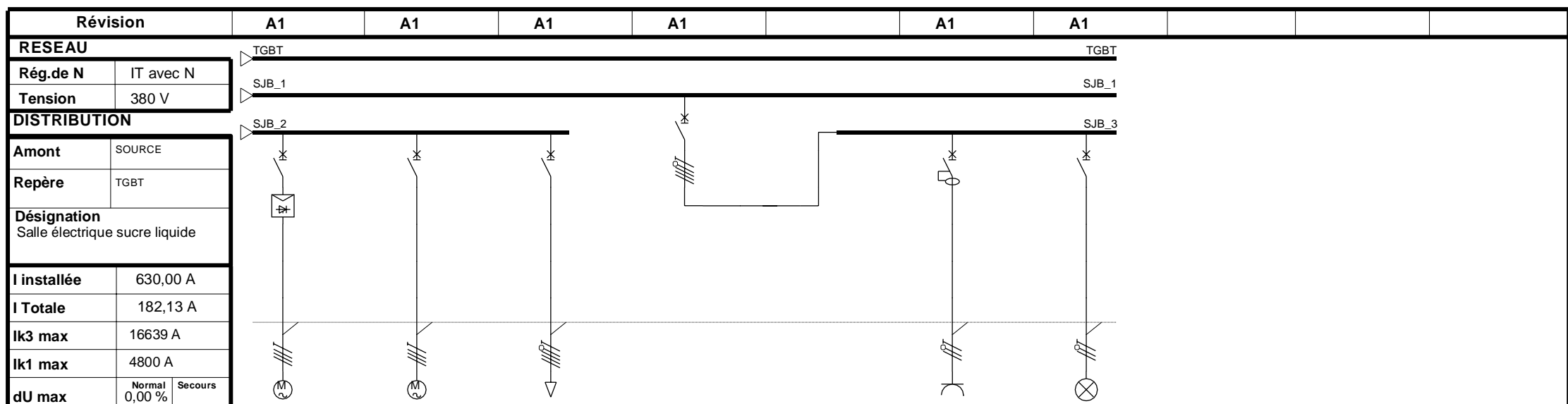


AFFAIRE: 1

PLAN:

Folio

5
21



CIRCUIT	Repère Circuit	TGBTM006	TGBTM007	TGBTDIV001	TGBTSJB003	SJB_3	TGBTPC001	TGBTECL001													
	Repère Récepteur	TGBTM006	TGBTM007	TGBTDIV001	SJB_3		TGBTPC001	TGBTECL001													
	Désignation	Agitateur M2	Palan électrique	Réserve	Disjoncteur divisionnaire 2		Prise de courant	Eclairage													
	Nb	Consommation	1	5,5kW	1	2,2kW	1	17kW	1	32A	0	1	16A	1	4W						
Alimentation		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal		Normal									
LIAISON	JdB / Ip	SJB_2 / 0,97 kA		SJB_2 / 0,97 kA		SJB_2 / 33,28 kA		SJB_1 / 33,28 kA		SJB_1 /		SJB_3 / 2,09 kA		SJB_3 / 2,17 kA		/	/	/			
	Type	U1000R2V (90°C)		U1000R2V (90°C)						U1000R2V (90°C)											
	Longueur	Ame	50 m	Cu	50 m	Cu	0 m		0 m		2 m	Cu	0 m								
	L.Max prot.		50 m (Cl)		50 m (Cl)		16 m (Cl)				44 m (DU)		33 m (Cl)								
	dU Totale	dU Dém.	2,16 %	7,34 %	0,87 %	2,57 %	0,00 %	0 %	0,00 %		0,22 %		0,00 %	0 %							
	Câble		4G2,5		4G2,5						3G2,5										
	Neutre PE/PEN		Séparé																		
	IB	Iz	12,32 A	22,68 A	4,97 A	22,68 A	32,29 A		32,00 A		16,00 A	26,12 A	0,02 A								
	Ik3 Max	Ik2 Min	644 A	360 A	644 A	360 A	16639 A	4687 A	16639 A	4687 A											
	Ik1 Min	If		105 A		105 A	3840 A	1920 A	3840 A	1920 A			2376 A		3840 A	1920 A					
ID / IN	Cos PHI Dém.	7,00	0,3	7,00	0,3	1,00	0,3							1,00	0,92						
Sélectivité		I<0,60kA+?		I<0,60kA+?		I<0,96kA+?		I<0,77kA+?		I<0,77kA+?		I<0,77kA+?		I<0,77kA+?							
PROT.	Type	NSX100B 3P3D		NSX100B 3P3D		NSX100B 4P4D		NSX100B 4P4D		iC60L 2P2D		iC60L 2P2D									
	Calibre	25 A		25 A		40 A		32 A		16 A		10 A									
	Tempo	20 ms		20 ms						30 mA		0 ms									
	Ir Diff.	Tempo.Diff.																			
	Ir	Im / Isd		14 A		112 A		14 A		112 A		36 A		500 A		32 A		400 A		153,6 A	
	Im / Isd max.			91 A		91 A		1600 A		1600 A											
Contacteur																					
Relais thermique																					
Affectation des phases		123		123		123		123		3		2									

	Installation du fondoir					Avis Technique 15L-601
	Unif. Industriel 10 circuits TGBT					AFFAIRE: 1
						PLAN:
						Folio
						7
						21

Amont (N)	Repère	Lieu	U charge	Ik3 Max (N)	Ik1 Max(N)	If (N)	Ik1 1/2 (N)	dU amont (N)	R0 Ph/N (N)	R0 Ph/N (S)
SOURCE	TGBT		380 V	16639 A	4800 A	0 A	3840 A	0,00 %	0,0352 Ω	

Installation du fondoir

Caractéristiques des tableaux

A1

Ind.

MODIFICATIONS

Date : 21/05/2024

Norme : C1510015

Avis Technique 15L-601



AFFAIRE: 1

PLAN:

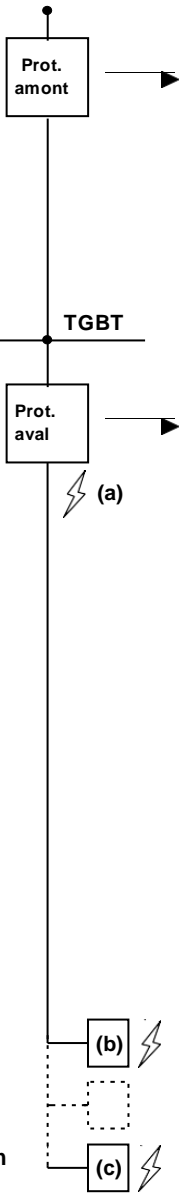
Folio

8 / 21

TGBTSJB002

TGBTM001

50 m

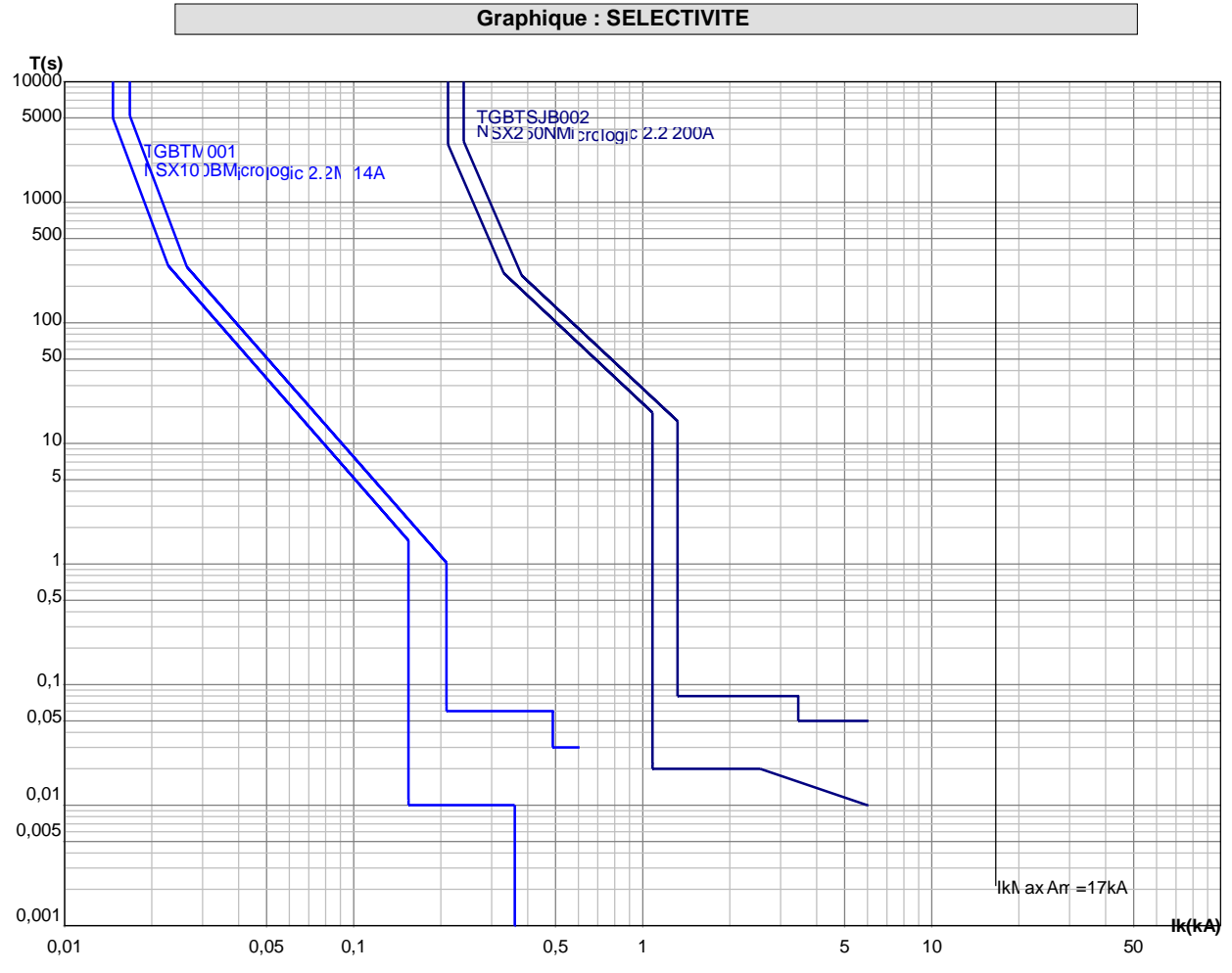


PROTECTIONS			
Repère : TGBTSJB002			
Désignation : Disjoncteur divisionnaire 1			
Type protection : Disj. Boitier moulé			
Prot CI : Prot Base			
Famille : NSX250N	Calibre : 250 A		
Ir : 200 A	Im / Isd : 1200 A		
Tsd : 20 ms	t : 0 ms		

Repère : TGBTM001			
Désignation : GMP1			
Type protection : Disjonct. Mot			
Prot CI : Prot Base			
Famille : NSX100B	Calibre : 25 A		
Ir : 14 A	Im / Isd : 182 A		
Tsd : 20 ms	t : :		
T1 : :	T2 : :		

Sélectivité thermique	Sélectivité différentielle
Avec	Sans objet

Sélectivité sur court-circuit		
Méthode appliquée : par Courbes		
Limite de sélectivité : 600 A		
		Valeur (A)
Sur Ik en (a) (aux bornes de la protection)	Ik3	16639 A
	Ik2	14420 A
	Ik1	
	If	
Sur Ik en (b) (sur premier récepteur)	Ik3	
	Ik2	
	Ik1	
	If	
Sur Ik en (c) (sur dernier récepteur)	Ik3	
	Ik2	
	Ik1	
	If	



Sélectivité calculée: I < 0,60kA+?

Glossaire - Exemples :

Fonct. : Sélectivité fonctionnelle - Sélectivité assurée pour tout ICC en extrémité de circuit

I < 2.1kA : Sélectivité Partielle - Sélectivité assurée pour tout ICC inférieur à 2.1 kA

Totale : Sélectivité Totale - Sélectivité pour tout ICC y compris aux bornes de la protection

Totale+ : Sélectivité renforcée par coordination

Logique : Sélectivité Logique - Sélectivité assurée par ordre de déclenchement

Installation du fondoir

Sélectivité par courbes TGBT|TGBTM001

A1	
Ind.	MODIFICATIONS
Date : 27/05/2024	Norme : C1510015
	C1510015

Avis Technique 15L-601	
AFFAIRE: 1	
PLAN:	